

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИЭиАС  
*В.Р. Храмшин*  
13.02.2024 г.

**ПРОГРАММА  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ**

13.04.02  
шифр

Направление подготовки  
Электроэнергетика и электротехника  
наименование направления подготовки

Направленность (профиль) программы  
Современный автоматизированный электропривод в производственных и технических системах  
наименование направленности (профиля) подготовки

Уровень высшего образования – магистратура

Программа подготовки – академическая магистратура

Форма обучения  
Очная

Институт  
Кафедра

Институт энергетики и автоматизированных систем  
Автоматизированного электропривода и мехатроники

Магнитогорск  
2024г.

Программа государственной итоговой аттестации составлена на основе требований ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом МОиН РФ от 17.08.2020 № 1046.

Программа государственной итоговой аттестации рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Автоматизированного электропривода и мехатроники 25.01.2024, протокол № 4.

Зав. кафедрой  А.А. Николаев

Программа государственной итоговой аттестации рассмотрена и утверждена на заседании методической комиссии Института энергетики и автоматизированных систем 13.02.2024 г. протокол № 4.

Председатель  В.Р. Храмшин

Программа ГИА составлена старшим преподавателем кафедры АЭПиМ

 А.Б.Льмарь

Рецензент: зам. начальника ЦЭТЛ ПАО «ММК» по электроприводу, канд. техн. наук

 А.Ю. Юдин



## 1. Общие положения

Государственная итоговая аттестация проводится государственными экзаменационными комиссиями в целях определения соответствия результатов освоения обучающимися образовательных программ соответствующим требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Магистр по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника в соответствии с направленностью (профилем) образовательной программы «Современный автоматизированный электропривод в производственных и технических системах» должен быть подготовлен к решению задач профессиональной деятельности следующих типов:

- научно-исследовательской;
- проектной;
- конструкторской.

В соответствии с задачами профессиональной деятельности выпускник на государственной итоговой аттестации должен показать соответствующий уровень освоения следующих компетенций:

- Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий (УК-1);
- Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла (УК-2);
- Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели (УК-3);
- Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия (УК-4);
- Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия (УК-5);
- Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки (УК-6);
- Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки (ОПК-1);
- Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- Способность разрабатывать концепции и формирование технического задания на проектирование системы электропривода (ПК-1);
- Способность контролировать полный цикл разработки проекта системы электропривода (ПК-2);
- Способность осуществлять мероприятия по защите авторских прав на проектные решения системы электропривода (ПК-3);
- Способность осуществлять контроль изготовления, испытаний, внедрения и эксплуатации системы электропривода (ПК-4);

На основании решения Ученого совета университета от 28.02.2024 (протокол № 5) государственные аттестационные испытания по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника проводятся в форме:

- государственного экзамена;

– защиты выпускной квалификационной работы.

К государственной итоговой аттестации допускается обучающийся, не имеющий академической задолженности и в полном объеме выполнивший учебный план или индивидуальный учебный план по данной образовательной программе.

## **2. Программа и порядок проведения государственного экзамена**

Согласно рабочему учебному плану, государственный экзамен проводится в период с 02.06.2026 по 16.06.2026. Для проведения государственного экзамена составляется расписание экзамена и предэкзаменационной консультации (консультирование обучающихся по вопросам, включенным в программу государственного экзамена).

Государственный экзамен проводится на открытых заседаниях государственной экзаменационной комиссии в специально подготовленных аудиториях, выведенных на время экзамена из расписания. Присутствие на государственном экзамене посторонних лиц допускается только с разрешения председателя ГЭК.

Обучающимся и лицам, привлекаемым к государственной итоговой аттестации, во время ее проведения запрещается иметь при себе и использовать средства оперативной и мобильной связи.

Государственный экзамен проводится в письменной форме.

Государственный экзамен включает 2 теоретических вопроса и 1 практическое задание. Продолжительность экзамена составляет 4 часа.

Во время государственного экзамена студент может пользоваться: учебными программами, макетами, альбомами схем и другими наглядными пособиями.

Результаты государственного экзамена определяются оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и объявляются в день приема экзамена.

Критерии оценки государственного экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся должен показать высокий уровень сформированности компетенций, т.е. показать способность обобщать и оценивать информацию, полученную на основе исследования нестандартной ситуации; использовать сведения из различных источников; выносить оценки и критические суждения, основанные на прочных знаниях;

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся должен показать продвинутый уровень сформированности компетенций, т.е. продемонстрировать глубокие прочные знания и развитые практические умения и навыки, умение сравнивать, оценивать и выбирать методы решения заданий, работать целенаправленно, используя связанные между собой формы представления информации;

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся должен показать базовый уровень сформированности компетенций, т.е. показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, профессиональные, интеллектуальные навыки решения стандартных задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся не обладает необходимой системой знаний, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать

интеллектуальные навыки решения простых задач.

Результаты государственного экзамена объявляются на следующий рабочий день после проведения экзамена.

Обучающийся, успешно сдавший государственный экзамен, допускается к выполнению и защите выпускной квалификационной работы.

## **2.1 Содержание государственного экзамена**

### **2.1.1 Перечень теоретических вопросов, выносимых на государственный экзамен**

1. Структурные схемы электроприводов, как объектов системы систем регулирования. Понятия передаточная функция, правила преобразования схем на основе представления в виде передаточных функций. Основные звенья: П, ПИ, ПИД, апериодического звено и др. Их представление на с применением операционных усилителей.

2. Способы регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей. Естественная и искусственные механические характеристики асинхронных электроприводов. Особенности исполнения и применения многоскоростных асинхронных электродвигателей.

3. Законы частотного регулирования и примеры их реализации при различных видах нагрузок (вентиляторная нагрузка, при постоянстве момента нагрузки, при постоянстве мощности).

4. Баланс мощностей и энергетические характеристики электропривода. Потери и КПД электроприводов в установившемся режиме. Нагрузочные диаграммы и типовые статические нагрузки, активные и реактивные моменты (силы).

4. Способы компенсации потребления реактивной мощности в электроприводах. Синхронные компенсаторы. Применение конденсаторов.

6. Переходные процессы в электроприводах с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при ударном приложении (сбросе) нагрузки.

7. Многомассовые системы электроприводов. Уравнение движения двухмассовой электромеханической системы с упругими связями.

8. Законы частотного регулирования и примеры их реализации при различных видах нагрузок (вентиляторная нагрузка, при постоянстве момента нагрузки, при постоянстве мощности).

9. Синхронные электроприводы. Области применения. Угловая характеристик, перегрузочная способность. Пуск синхронных электроприводов.

10. Потери и расход энергии в переходных процессах электроприводов с двигателями постоянного тока с независимым возбуждением. Нагревание и охлаждение двигателей. Постоянная времени нагрева. Способы снижения потерь и расхода энергии в переходных процессах электроприводов.

11. Способы компенсации потребления реактивной мощности в электроприводах. Синхронные компенсаторы. Применение конденсаторов.

12. Двухдвигательный электропривод. Деление нагрузок. Примеры использования в электроприводах промышленной сферы.

13. Предварительный выбор двигателей по мощности. Выбор двигателей по мощности при длительном режиме работы. Классификация режимов работы электродвигателей ( $S_1$  –  $S_8$ ) по ГОСТ183-74;

14. Законы частотного регулирования и примеры их реализации при различных видах нагрузок (вентиляторная нагрузка, при постоянстве момента нагрузки, при постоянстве мощности).

15. Пусковые устройства двигателей переменного тока. Основные устройства. Реакторный и автотрансформаторный пуск. Полупроводниковые устройства пуска: системы ТПН-АД, ПЧ-АД и др. Особенности реализации устройств пуска и регулирования для высоковольтных электроприводов.

16. Режимы работы электродвигателей. Регулирование скорости асинхронных электроприводов. Тормозные режимы асинхронных электроприводов.

17. Основные критерии устойчивости. Применение ЛАЧХ и ЛФЧХ при анализе систем автоматического регулирования электроприводами технологических агрегатов.

18. Синхронные электроприводы. Области применения. Угловая характеристик, перегрузочная способность. Пуск синхронных электроприводов.

19. Система ТП-Д, схемы нереверсивных и реверсивных электроприводов. Форсировка процесса возбуждения. Особенности реализации двухзонного регулирования.

20. Построение и принцип работы системы ПЧ-АД с автономным инвертором напряжения. Современное состояние – обзор мирового производства комплектного оборудования по системе ПЧ-АД, ПЧ-СД.

21. Электронная база в системах управления электроприводами: дискретные элементы диоды (все разновидности), транзисторно-тиристорная база, включая современные силовые ключи (тиристоры: одно – и двух операционные, ГТО – тиристоры, IGBT – транзисторы и другие разновидности полупроводниковых силовых ключей.

22. Переходные процессы в электроприводах с двигателем постоянного тока независимого возбуждения при ударном приложении (сбросе) нагрузки.

23. Пусковые устройства двигателей переменного тока. Основные устройства. Реакторный и автотрансформаторный пуск. Полупроводниковые устройства пуска: системы ТПН-АД, ПЧ-АД и др. Особенности реализации устройств пуска и регулирования для высоковольтных электроприводов.

24. Многомассовые системы электроприводов. Уравнение движения двухмассовой электромеханической системы с упругими связями.

25. Переходные процессы в системе ТП-Д при пуске. Структура системы управления при реализации подчиненного регулирования электроприводов. Особенности пусковых процессов при реализации настройки по модульному оптимуму и симметричному оптимуму»

26. Принципы построения систем скалярного и векторного частотно-токового управления асинхронным двигателем.

27. Синхронные электроприводы. Области применения. Угловая характеристик, перегрузочная способность. Пуск синхронных электроприводов.

28. Способы регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей. Естественная и искусственные механические характеристики асинхронных электроприводов. Особенности исполнения и применения многоскоростных асинхронных электродвигателей.

29. Развитие систем управляемых электроприводов переменного тока: машинно-вентильные каскады, асинхронный-вентильный каскад, Системы с тиристорными регуляторами напряжения, непосредственные преобразователи частоты, двухзвенные преобразователи частоты, включая преобразователи с ШИМ-модуляцией.

30. Многомассовые системы электроприводов. Уравнение движения двухмассовой электромеханической системы с упругими связями.
31. Синхронные электроприводы. Области применения. Угловая характеристик, перегрузочная способность. Пуск синхронных электроприводов.
32. Двухдвигательный электропривод. Деление нагрузок. Примеры использования в электроприводах промышленной сферы.
33. Основные критерии устойчивости. Применение ЛАЧХ и ЛФЧХ при анализе систем автоматического регулирования электроприводами технологических агрегатов.
34. Способы компенсации потребления реактивной мощности в электроприводах. Синхронные компенсаторы. Применение конденсаторов.
35. Баланс мощностей и энергетические характеристики электропривода. Потери и КПД электроприводов в установившемся режиме. Нагрузочные диаграммы и типовые статические нагрузки, активные и реактивные моменты (силы).
36. Структурные схемы электроприводов, как объектов системы систем регулирования. Понятия передаточная функция, правила преобразования схем на основе представления в виде передаточных функций. Основные звенья: П, ПИ, ПИД, апериодического звено и др. Их представление на с применением операционных усилителей.
37. Законы частотного регулирования и примеры их реализации при различных видах нагрузок (вентиляторная нагрузка, при постоянстве момента нагрузки, при постоянстве мощности).
38. Основные критерии устойчивости. Применение ЛАЧХ и ЛФЧХ при анализе систем автоматического регулирования электроприводами технологических агрегатов.
39. Построение и принцип работы системы ПЧ-АД с автономным инвертором напряжения. Современное состояние – обзор мирового производства комплектного оборудования по системе ПЧ-АД, ПЧ-СД.
40. Пусковые устройства двигателей переменного тока. Основные устройства. Реакторный и автотрансформаторный пуск. Полупроводниковые устройства пуска: системы ТПН-АД, ПЧ-АД и др. Особенности реализации устройств пуска и регулирования для высоковольтных электроприводов.
41. Основные критерии устойчивости. Применение ЛАЧХ и ЛФЧХ при анализе систем автоматического регулирования электроприводами технологических агрегатов.
42. Способы компенсации потребления реактивной мощности в электроприводах. Синхронные компенсаторы. Применение конденсаторов.
43. Двухдвигательный электропривод. Деление нагрузок. Примеры использования в электроприводах промышленной сферы.
44. Предварительный выбор двигателей по мощности. Выбор двигателей по мощности при длительном режиме работы. Классификация режимов работы электродвигателей ( $S_1 - S_8$ ) по ГОСТ183-74;
45. Электронная база в системах управления электроприводами: дискретные элементы диоды (все разновидности), транзисторно-тиристорная база, включая современные силовые ключи (тиристоры: одно – и двух операционные, GTO – тиристоры, IGBT – транзисторы и другие разновидности полупроводниковых силовых ключей).
46. Законы частотного регулирования и примеры их реализации при различных видах нагрузок (вентиляторная нагрузка, при постоянстве момента нагрузки, при постоянстве мощности).

47. Пусковые устройства двигателей переменного тока. Основные устройства. Реакторный и автотрансформаторный пуск. Полупроводниковые устройства пуска: системы ТПН-АД, ПЧ-АД и др. Особенности реализации устройств пуска и регулирования для высоковольтных электроприводов.

48. Режимы работы электродвигателей. Регулирование скорости асинхронных электроприводов. Тормозные режимы асинхронных электроприводов.

49. Потери и расход энергии в переходных процессах электроприводов с двигателями постоянного тока с независимым возбуждением. Нагревание и охлаждение двигателей. Постоянная времени нагрева. Способы снижения потерь и расхода энергии в переходных процессах электроприводов.

50. Способы регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей. Естественная и искусственные механические характеристики асинхронных электроприводов. Особенности исполнения и применения многоскоростных асинхронных электродвигателей.

### **2.1.2 Перечень практических заданий, выносимых на государственный экзамен**

1. Два асинхронных двигателя с к.з. ротором (паспортные данные  $P_n = 3,5$  кВт,  $\eta_n = 870$  об/мин,  $U_{1л} = 380$  В,  $I_n = 10,1$  А,  $r_1 = 2,16$  Ом,  $x_1 = 2,03$  Ом,  $r_2' = 3,33$  Ом,  $x_2' = 1,46$  Ом) работают на общий вал. В результате технологического разброса параметров оказалось, что активное сопротивление ротора 1-ой машины на 10% меньше паспортного, а активное сопротивление ротора 2-ой машины на 10% больше паспортного. Оцените графическим способом загрузку двигателей, если суммарный момент нагрузки  $M_c = 75$  Нм.

2. Для регулирования скорости ДПТ с независимым возбуждением применяется система Г-Д. Генератор и двигатель одинаковые эл.машины с параметрами:  $P_n = 12$  кВт,  $\eta_n = 790$  об/мин,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 65$  А,  $R_{я} = 0,266$  Ом. Момент инерции  $J = 0,4$  кгм<sup>2</sup>. Определите диапазон  $D$  регулирования скорости при заданной точности ее поддержания  $\Delta M_c \text{ доп} = 0,5$  Мн; момент статический сопротивлений изменяется в пределах от 0 до Мн; температура машин в процессе работы изменяется в пределах от 200 С до 800 С.

Определите необходимый коэффициент форсировки для пуска двигателя в системе Г-Д за  $t_{п} = 0,7$  с,  $T_{в} = 1,5$  с,  $U_{вн} = 220$  В.

3. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения:  $J_{\Sigma} = 10$  кгм<sup>2</sup>,  $\omega_0 = 1101$ /с,  $\omega_{нач} = 100$  1/с,  $K_{\Phi} = 5$  вс,  $M_n = 1000$  Нм переходит в режим динамического торможения с  $M_{нач} = 1,4$  Мн. Нарисовать кривые переходного процесса при  $\omega = f(t)$ ,  $i_a = f(t)$  при активном и реактивном  $M_c$ .

Определить:

1)  $T_m$

2) т.д. время торможения двигателя до скорости  $\omega = 0$ ;

3) Потери энергии в двигателях и откуда они поступают?

Нарисовать схему асинхронного вентильного каскада и пояснить принцип работы.

4. Асинхронный двигатель тормозится вхолостую в режиме противовключения. Критический момент  $M_k = 1000$  Нм, синхронная скорость  $\omega_0 = 104,7$  1/с, момент инерции  $J = 10$  кгм<sup>2</sup>. Определить величину критического скольжения, при котором время торможения  $t_{т min}$ , а также потери  $\Delta A_{п}$ , если  $R_1 / R_2 = 1$ .



5. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения тормозится в режиме противовключения с реактивным  $M_c = M_n$ . Технические данные:  $P_n = 12$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $\eta_n = 790$  об/мин,  $I_n = 65$  А,  $R_a = 0,266$  Ом,  $J = 0,4$  кгм<sup>2</sup>,  $\omega_{нач} = 82,7$  1/с,  $I_{нач} = 130$  А.

а) Построить кривые  $\omega = f(t)$ ,  $M = f(t)$  и определить время торможения до  $\omega = 0$ .

б) Определить величину потерь энергии при торможении.

6. Два асинхронных двигателя с к.з. ротором (паспортные данные:  $P_n = 3,5$  кВт,  $\eta_n = 870$  об/мин,  $U_{1л} = 380$  В,  $I_{1н} = 10,1$  А,  $r_1 = 2,16$  Ом,  $x_1 = 2,03$  Ом,  $r_2' = 3,33$  Ом,  $x_2' = 1,46$  Ом) работают на общий вал. В результате технологического разброса параметров оказалось, что активное сопротивление ротора 1-го двигателя на 10% меньше паспортного, а 2-го на 10% больше паспортного. Оцените графическим способом загрузку двигателей, если суммарный момент нагрузки  $M_c = 75$  Нм.

7. Для регулирования скорости ДПТ с независимым возбуждением изменяется система Г-Д. Генератор и двигатель одинаковые эл.машины с параметрами:  $P_n = 12$  кВт,  $\eta_n = 790$  об/мин,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 65$  А,  $R_a = 0,266$  Ом, момент инерции  $J = 0,4$  кгм<sup>2</sup>. Определите диапазон  $D$  регулирования скорости при заданной точности ее поддержания  $\Delta M_c \text{ доп} = 0,5$  Мн; момент статических сопротивлений изменяется в пределах от 0 до Мн; температура машин в процессе работы изменяется в пределах от 200 С до 800 С.

Определите необходимый коэффициент форсировки для пуска двигателя в системе Г-Д за  $t_{п} = 0,7$  с,  $T_v = 1,5$  с,  $U_{вн} = 220$  В.

8. Для регулирования скорости ДПТ с НВ (паспортные данные двигателя:  $P_n = 12$  кВт,  $\eta_n = 790$  об/мин,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 65$  А,  $R_a = 0,266$  Ом, момент инерции  $J = 0,4$  кгм<sup>2</sup>,  $I_{нач} = 130$  А. Используется система ТП-Д. Тиристорный преобразователь – трехфазная мостовая схема выпрямления, питается от сети с реактором ( $U_{л} = 220$  В), индуктивность фазы  $L_{\phi} = 0,25$  мГн, активное сопротивление  $R_{\phi} = 0,015$ . Требуется обеспечить диапазон регулирования скорости  $D = 5$ . Оцените точность регулирования и коэффициент мощности при таком способе регулирования.

9. Рассчитайте переходный процесс пуска  $\omega = f(t)$ ,  $i_a = f(t)$  двигателя постоянного с НВ, имеющего следующие данные:  $P_n = 12$  кВт,  $\eta_n = 1360$  об/мин,  $U_n = 220$  В,  $I_n = 65$  А,  $R_a = 0,194$  Ом, момент инерции  $J_{\Sigma} = 0,4$  кгм<sup>2</sup>,  $\lambda = 2$ . В якорную цепь для ограничения пускового тока на допустимом уровне включен дополнительный резистор  $R_{доб}$ ;  $M_c = M_n$

10. Регулирование скорости АД с КЗР осуществляется по системе ПЧ-АД. Паспортными данными двигателя:  $P_n = 3,5$  кВт,  $\eta_n = 870$  об/мин,  $U_{1л} = 380$  В,  $I_{1н} = 10,1$  А,  $R_1 = 2,16$  Ом,  $x_1 = 2,03$  Ом,  $R_2' = 3,33$  Ом,  $x_2' = 1,46$  Ом. Определите частоту и напряжение, которое необходимо приложить к статору, для получения скорости вращения

1)  $\omega = 157$  рад/с при моменте нагрузки  $M_c = 15$  Нм.

2)  $\omega = 45$  рад/с при  $M_c = 15$  Нм.

Рассчитайте и постройте характеристики  $\omega = f(M)$  при  $\omega = 91$  рад/с,  $\omega = 45$  рад/с,  $\omega = 157$  рад/с,

11. Два асинхронных двигателя с к.з. ротором (паспортные данные:  $P_n = 3,5$  кВт,  $\eta_n = 870$  об/мин,  $U_{1л} = 380$  В,  $I_{1н} = 10,1$  А,  $r_1 = 2,16$  Ом,  $x_1 = 2,03$  Ом,  $r_2' = 3,33$  Ом,  $x_2' = 1,46$  Ом) работают на общий вал. В результате технологического разброса параметров оказалось, что активное сопротивление ротора 1-ой машины на 10% меньше паспортного, а активное сопротивление ротора 2-ой машины на 10% больше паспортного. Оцените

графическим способом загрузку двигателей, если суммарный момент нагрузки  $M_c = 75 \text{ Нм}$ .

12. Для регулирования скорости ДПТ с независимым возбуждением применяется система Г-Д. Генератор и двигатель одинаковые эл.машины с параметрами:  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ,  $\eta_H = 790 \text{ об/мин}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $I_H = 65 \text{ А}$ ,  $R_{\Sigma} = 0,266 \text{ Ом}$ . Момент инерции  $J = 0,4 \text{ кгм}^2$ . Определите диапазон  $D$  регулирования скорости при заданной точности ее поддержания  $\Delta M_c \text{ доп} = 0,5 \text{ Мн}$ ; момент статических сопротивлений изменяется в пределах от 0 до  $M_H$ ; температура машин в процессе работы изменяется в пределах от 200 С до 800 С.

Определите необходимый коэффициент форсировки для пуска двигателя в системе Г-Д за  $t_p = 0,7 \text{ с}$ ,  $T_v = 1,5 \text{ с}$ ,  $U_{вн} = 220 \text{ В}$ .

13. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения:  $J_{\Sigma} = 10 \text{ кгм}^2$ ,  $\omega_0 = 1101 \text{ 1/с}$ ,  $\omega_{нач} = 100 \text{ 1/с}$ ,  $K\Phi = 5 \text{ вс}$ ,  $M_H = 1000 \text{ Нм}$  переходит в режим динамического торможения с  $M_{нач} = 1,4 \text{ Мн}$ . Нарисовать кривые переходного процесса при  $\omega = f(t)$ ,  $i_a = f(t)$  при активном и реактивном  $M_c$ .

Определить:

- 1)  $T_m$
- 2) т.д. время торможения двигателя до скорости  $\omega = 0$ ;
- 3) Потери энергии в двигателях и откуда они поступают?

Нарисовать схему асинхронного вентильного каскада и пояснить принцип работы.

14. Асинхронный двигатель тормозится вхолостую в режиме противовключения. Критический момент  $M_k = 1000 \text{ Нм}$ , синхронная скорость  $\omega_0 = 104,7 \text{ 1/с}$ , момент инерции  $J = 10 \text{ кгм}^2$ . Определить величину критического скольжения, при котором время торможения  $t_{т min}$ , а также потери  $\Delta A_{п}$ , если  $R_1 / R_2 = 1$ .

15. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения тормозится в режиме противовключения с реактивным  $M_c = M_H$ . Технические данные:  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $\eta_H = 790 \text{ об/мин}$ ,  $I_H = 65 \text{ А}$ ,  $R_{\Sigma} = 0,266 \text{ Ом}$ ,  $J = 0,4 \text{ кгм}^2$ ,  $\omega_{нач} = 82,7 \text{ 1/с}$ ,  $I_{нач} = 130 \text{ А}$ .

- а) Построить кривые  $\omega = f(t)$ ,  $M = f(t)$  и определить время торможения до  $\omega = 0$ .
- б) Определить величину потерь энергии при торможении.

16. Для регулирования скорости ДПТ с независимым возбуждением изменяется система Г-Д. Генератор и двигатель одинаковые эл.машины с параметрами:  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ,  $\eta_H = 790 \text{ об/мин}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $I_H = 65 \text{ А}$ ,  $R_{\Sigma} = 0,266 \text{ Ом}$ , момент инерции  $J = 0,4 \text{ кгм}^2$ . Определите диапазон  $D$  регулирования скорости при заданной точности ее поддержания  $\Delta M_c \text{ доп} = 0,5 \text{ Мн}$ ; момент статических сопротивлений изменяется в пределах от 0 до  $M_H$ ; температура машин в процессе работы изменяется в пределах от 200 С до 800 С.

Определите необходимый коэффициент форсировки для пуска двигателя в системе Г-Д за  $t_p = 0,7 \text{ с}$ ,  $T_v = 1,5 \text{ с}$ ,  $U_{вн} = 220 \text{ В}$ .

17. Для регулирования скорости ДПТ с НВ (паспортные данные двигателя:  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ,  $\eta_H = 790 \text{ об/мин}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $I_H = 65 \text{ А}$ ,  $R_{\Sigma} = 0,266 \text{ Ом}$ , момент инерции  $J = 0,4 \text{ кгм}^2$ ,  $I_{нач} = -130 \text{ А}$ ). Используется система ТП-Д. Тиристорный преобразователь – трехфазная мостовая схема выпрямления, питается от сети с реактором ( $U_{л} = 220 \text{ В}$ ), индуктивность фазы  $L_{\phi} = 0,25 \text{ мГн}$ , активное сопротивление  $R_{\phi} = 0,015$ . Требуется обеспечить диапазон регулирования скорости  $D = 5$ . Оцените точность регулирования и коэффициент мощности при таком способе регулирования.

18. Рассчитайте переходный процесс пуска  $\omega = f(t)$ ,  $i_a = f(t)$  двигателя постоянного с НВ, имеющего следующие данные:  $P_H = 12 \text{ кВт}$ ,  $\eta_H = 1360 \text{ об/мин}$ ,  $U_H = 220 \text{ В}$ ,  $I_H = 65 \text{ А}$ ,

$R_a = 0,194 \text{ Ом}$ , момент инерции  $J_{\Sigma} = 0,4 \text{ кгм}^2$ ,  $\lambda = 2$ . В якорную цепь для ограничения пускового тока на допустимом уровне включен дополнительный резистор  $R_{доб}$ ;  $M_c = M_n$

19. Регулирование скорости АД с КЗР осуществляется по системе ПЧ-АД. Паспортные данные двигателя:  $P_n = 3,5 \text{ кВт}$ ,  $\eta_n = 870 \text{ об/мин}$ ,  $U_{нл} = 380 \text{ В}$ ,  $I_{нл} = 10,1 \text{ А}$ ,  $R_1 = 2,16 \text{ Ом}$ ,  $x_1 = 2,03 \text{ Ом}$ ,  $R_2' = 3,33 \text{ Ом}$ ,  $x_2' = 1,46 \text{ Ом}$ . Определите частоту и напряжение, которое необходимо приложить к статору, для получения скорости вращения

1)  $\omega = 157 \text{ рад/с}$  при моменте нагрузки  $M_c = 15 \text{ Нм}$ .

2)  $\omega = 45 \text{ рад/с}$  при  $M_c = 15 \text{ Нм}$ .

Рассчитайте и постройте характеристики  $\omega = f(M)$  при  $\omega = 91 \text{ рад/с}$ ,  $\omega = 45 \text{ рад/с}$ ,  $\omega = 157 \text{ рад/с}$ ,

19. Для однофазной схемы выпрямления со средней точкой определить максимальное значение выпрямленной ЭДС  $E_{d0}$ , среднее значение выпрямленной ЭДС  $E_d$ , среднее значение выпрямленного тока  $I_d$ , среднее значение тока через вентиль  $I_{в.ср.}$ , максимальное напряжение на вентиле  $U_{мах}$  при  $E_2\phi=100 \text{ В}$ ;  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $L_d=$ ,  $\alpha = 30^\circ$ .

20. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$  для однофазной схемы выпрямления со средней точкой при работе на  $R_d$  ( $L_d=0$ ) при  $\alpha = 60^\circ$ ,  $X_T=0$ ;  $R_T=0$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Определить  $E_d$ ,  $U_{в.мах}$ .

21. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$  для однофазной схемы выпрямления со средней точкой при работе на  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $L_d=$  при  $\alpha = 60^\circ$  с учетом коммутации  $X_T=0,5 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Определить  $E_d$ ,  $U_{в.мах}$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$

23. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$  для однофазной мостовой схемы выпрямления при работе на  $R_d$  ( $L_d=0$ ) при  $\alpha = 60^\circ$   $X_T=0$ ;  $R_T=0$ ;  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Определить  $E_d$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$

24. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$  для однофазной мостовой схемы выпрямления при работе на  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $L_d=$  при  $\alpha = 60^\circ$  с учетом коммутации  $X_T=0,5 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Определить  $E_d$ ,  $U_{в.мах}$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$

25. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$ ,  $i_d = f(\omega_0 t)$ ,  $i_a, i_b, i_c = f(\omega_0 t)$  для трехфазной нулевой схемы выпрямления при работе на  $R_d$  ( $L_d=0$ ) при  $\alpha = 0$ ,  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Схема соединения обмоток трансформатора  $Y/Y$ . Определить  $E_{d0}$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$ , средний ток вентиля  $I_{в.ср.}$ .

26. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$ ,  $i_d = f(\omega_0 t)$ ,  $i_a = f(\omega_0 t)$  для трехфазной нулевой схемы выпрямления при работе на  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $L_d=$  при  $\alpha = 30^\circ$  с учетом коммутации  $X_T=0,5 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=100 \text{ В}$ . Схема соединения обмоток трансформатора  $Y/Y$  Определить  $E_d$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$ , средний ток вентиля  $I_{в.ср.}$ ,  $U_{в.мах}$

27. Нарисовать кривые  $e_d = f(\omega_0 t)$ ,  $U_{vs1} = f(\omega_0 t)$ ,  $i_d = f(\omega_0 t)$ ,  $i_a = f(\omega_0 t)$  для трехфазной мостовой схемы выпрямления при работе на  $R_d$  ( $L_d=0$ ) при  $\alpha = 30^\circ$ ,  $R_d=10 \text{ Ом}$ ;  $E_2\phi=205 \text{ В}$ . Схема соединения обмоток трансформатора  $Y/Y$ . Определить  $E_{d0}$ ,  $I_d$ ,  $U_{в.мах}$ , средний ток вентиля  $I_{в.ср.}$ .

### **2.1.3 Перечень рекомендуемой литературы для подготовки к государственному экзамену**

1. Анучин А.С., Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Анучин А.С. - М. : Издательский дом МЭИ, 2015. - 373 с. - ISBN 978-5-383-00918-5 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009185.html>

2. Бычков, Ю. А. Непрерывные и дискретные нелинейные модели динамических систем : монография / Ю. А. Бычков, Е. Б. Соловьева, С. В. Щербаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 420 с. — ISBN 978-5-8114-3348-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/169318> (дата обращения: 10.06.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Осипов, Г. С. Методы искусственного интеллекта : монография / Г. С. Осипов. - Москва : Физматлит, 2011. - 296 с. - ISBN 978-5-9221-1323-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/544787> (дата обращения: 07.11.2020). – Режим доступа: по подписке.

4. Фурсов, В. Б. Моделирование электропривода : учебное пособие / В. Б. Фурсов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 220 с. — ISBN 978-5-8114-3566-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/121467> (дата обращения: 07.11.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **2.1.4 Рекомендации обучающимся по подготовке к государственному экзамену**

#### **Подготовка к письменному ответу**

Во время подготовки обучающемуся следует правильно составить письменный ответ. Хорошо структурированный ответ должен содержать в себе следующие пункты: определение главных теоретических положений и терминов; примеры по теме вопроса; разные взгляды ученых на заданный вопрос. Обучающемуся рекомендуется подкреплять ответ ссылками на учебные пособия и цитатами ученых, изучающих тему вопроса. Рекомендуется оценить ответ с разных сторон. Если в ответе обучающийся использует сокращения, нужно пояснить, как они расшифровываются. Следует строго отвечать на поставленный вопрос и не пытаться написать лишнюю информацию, при этом ответ на вопрос должен быть максимально полным. Перед написанием ответа на бумаге необходимо составить примерный план ответа на экзаменационный вопрос, чтобы внести в билет  всю нужную информацию. Каждый ответ должен иметь логическое завершение и содержать выводы.

#### **Работа с учебной литературой (конспектом)**

При работе с литературой (конспектом) при подготовке к экзамену обучающемуся рекомендуется:

1. Подготовить необходимую информационно-справочную (словари, справочники) и рекомендованную научно-методическую литературу (учебники, учебные пособия) для получения исчерпывающих сведений по каждому экзаменационному вопросу.

2. Уточнить наличие содержания и объем материала в лекциях и учебной литературе для раскрытия вопроса.

3. Дополнить конспекты недостающей информацией по отдельным аспектам, без которых невозможен полный ответ.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

- аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения;
- планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала;
- тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала;
- цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора;
- конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

4. Распределить весь материал на части с учетом их сложности, составить график подготовки к экзамену.

5. Внимательно прочитать материал конспекта, учебника или другого источника информации, с целью уточнений отдельных положений, структурирования информации, дополнения рабочих записей.

8. Повторно прочитать содержание вопроса, пропуская или бегло просматривая те части материала, которые были усвоены на предыдущем этапе.

9. Прочитать еще раз материал с установкой на запоминание. Запоминать следует не текст, а его смысл и его логику. В первую очередь необходимо запомнить термины, основные определения, понятия, законы, принципы, аксиомы, свойства изучаемых процессов и явлений, основные влияющие факторы, их взаимосвязи. Полезно составлять опорные конспекты.

10. Многократное повторение материала с постепенным «сжиманием» его в объеме способствует хорошему усвоению и запоминанию.

11. В последний день подготовки к экзамену следует проговорить краткие ответы на все вопросы, а на тех, которые вызывают сомнения, остановитесь более подробно.

### **3. Порядок подготовки и защиты выпускной квалификационной работы**

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы является одной из форм государственной итоговой аттестации.

При выполнении выпускной квалификационной работы, обучающиеся должны показать свои знания, умения и навыки самостоятельно решать на современном уровне задачи своей профессиональной деятельности, профессионально излагать специальную информацию, научно аргументировать и защищать свою точку зрения.

Обучающий, выполняющий выпускную квалификационную работу должен показать свою способность и умение:

- определять и формулировать проблему исследования с учетом ее актуальности;
- ставить цели исследования и определять задачи, необходимые для их достижения;
- анализировать и обобщать теоретический и эмпирический материал по теме исследования, выявлять противоречия, делать выводы;
- применять теоретические знания при решении практических задач;
- делать заключение по теме исследования, обозначать перспективы дальнейшего изучения исследуемого вопроса;
- оформлять работу в соответствии с установленными требованиями;

### **3.1 Подготовительный этап выполнения выпускной квалификационной работы**

#### **3.1.1 Выбор темы выпускной квалификационной работы**

Обучающийся самостоятельно выбирает тему из рекомендуемого перечня тем ВКР, представленного в приложении 1. Обучающийся (несколько обучающихся, выполняющих ВКР совместно), по письменному заявлению, имеет право предложить свою тему для выпускной квалификационной работы, в случае ее обоснованности и целесообразности ее разработки для практического применения в соответствующей области профессиональной деятельности или на конкретном объекте профессиональной деятельности. Утверждение тем ВКР и назначение руководителя утверждается приказом по университету.

#### **3.1.2 Функции руководителя выпускной квалификационной работы**

Для подготовки выпускной квалификационной работы обучающемуся назначается руководитель и, при необходимости, консультанты.

Руководитель ВКР помогает обучающемуся сформулировать объект, предмет исследования, выявить его актуальность, научную новизну, разработать план исследования; в процессе работы проводит систематические консультации.

Подготовка ВКР обучающимся и отчет перед руководителем реализуется согласно календарному графику работы. Календарный график работы обучающегося составляется на весь период выполнения ВКР с указанием очередности выполнения отдельных этапов и сроков отчетности по выполнению работы перед руководителем.

### **3.2 Требования к выпускной квалификационной работе**

При подготовке выпускной квалификационной работы обучающийся руководствуется методическими указаниями и локальным нормативным актом университета СМК-О-СМГТУ-36-20 – Выпускная квалификационная работа: структура, содержание, общие правила выполнения и оформления.

### **3.3 Порядок защиты выпускной квалификационной работы**

Законченная выпускная квалификационная работа должна пройти процедуру нормоконтроля, включая проверку на объем заимствований, а затем представлена руководителю для оформления письменного отзыва. После оформления отзыва руководителя ВКР направляется на рецензию. Рецензент оценивает значимость полученных результатов, анализирует имеющиеся в работе недостатки, характеризует качество ее оформления и изложения, дает заключение (рецензию) о соответствии работы предъявляемым требованиям в письменном виде.

Выпускная квалификационная работа, подписанная заведующим кафедрой, имеющая рецензию и отзыв руководителя работы, допускается к защите и передается в государственную экзаменационную комиссию не позднее, чем за 2 календарных дня до даты защиты, также работа размещается в электронно-библиотечной системе университета.

Объявление о защите выпускных работ вывешивается на кафедре за несколько дней до защиты.

Защита выпускной квалификационной работы проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии и является публичной. Защита одной выпускной работы *не должна превышать 30 минут*.

Для сообщения обучающемуся предоставляется *не более 10 минут*. Сообщение по содержанию ВКР сопровождается необходимыми графическими материалами и/или презентацией с раздаточным материалом для членов ГЭК. В ГЭК могут быть представлены также другие материалы, характеризующие научную и практическую ценность выполненной ВКР – печатные статьи с участием выпускника по теме ВКР, документы, указывающие на практическое применение ВКР, макеты, образцы материалов, изделий и т.п.

В своем выступлении обучающийся должен отразить:

- содержание проблемы и актуальность исследования;
- цель и задачи исследования;
- объект и предмет исследования;
- методику своего исследования;
- полученные теоретические и практические результаты исследования;
- выводы и заключение.

В выступлении должны быть четко обозначены результаты, полученные в ходе исследования, отмечена теоретическая и практическая ценность полученных результатов.

По окончании выступления выпускнику задаются вопросы по теме его работы. Вопросы могут задавать все присутствующие. Все вопросы протоколируются.

Затем слово предоставляется научному руководителю, который дает характеристику работы. При отсутствии руководителя отзыв зачитывается одним из членов ГЭК.

После этого выступает рецензент или рецензия зачитывается одним из членов ГЭК.

Заслушав официальную рецензию своей работы, студент должен ответить на вопросы и замечания рецензента.

Затем председатель ГЭК просит присутствующих выступить по существу выпускной квалификационной работы. Выступления членов комиссии и присутствующих на защите (до 2-3 мин. на одного выступающего) в порядке свободной дискуссии и обмена мнениями не являются обязательным элементом процедуры, поэтому, в случае отсутствия желающих выступить, он может быть опущен.

После дискуссии по теме работы студент выступает с заключительным словом. Этика защиты предписывает при этом выразить благодарность руководителю и рецензенту за проделанную работу, а также членам ГЭК и всем присутствующим за внимание.

### **3.4 Критерии оценки выпускной квалификационной работы**

Результаты защиты ВКР определяются оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и объявляются *в день защиты*.

Решение об оценке принимается на закрытом заседании ГЭК по окончании процедуры защиты всех работ, намеченных на данное заседание. Для оценки ВКР государственная экзаменационная комиссия руководствуется следующими критериями:

- актуальность темы;
- научно-практическое значение темы;
- качество выполнения работы, включая демонстрационные и презентационные материалы;
- содержательность доклада и ответов на вопросы;

– умение представлять работу на защите, уровень речевой культуры.

Оценка **«отлично»** (5 баллов) выставляется за глубокое раскрытие темы, полное выполнение поставленных задач, логично изложенное содержание, качественное оформление работы, соответствующее требованиям локальных актов, высокую содержательность доклада и демонстрационного материала, за развернутые и полные ответы на вопросы членов ГЭК;

Оценка **«хорошо»** (4 балла) выставляется за полное раскрытие темы, хорошо проработанное содержание без значительных противоречий, в оформлении работы имеются незначительные отклонения от требований, высокую содержательность доклада и демонстрационного материала, за небольшие неточности при ответах на вопросы членов ГЭК.

Оценка **«удовлетворительно»** (3 балла) выставляется за неполное раскрытие темы, выводов и предложений, носящих общий характер, в оформлении работы имеются незначительные отклонения от требований, отсутствие наглядного представления работы и затруднения при ответах на вопросы членов ГЭК.

Оценка **«неудовлетворительно»** (2 балла) выставляется за частичное раскрытие темы, необоснованные выводы, за значительные отклонения от требований в оформлении и представлении работы, когда обучающийся допускает существенные ошибки при ответе на вопросы членов ГЭК.

Оценка **«неудовлетворительно»** (1 балл) выставляется за необоснованные выводы, за значительные отклонения от требований в оформлении и представлении работы, отсутствие наглядного представления работы, когда обучающийся не может ответить на вопросы членов ГЭК.

Оценки **«отлично»**, **«хорошо»**, **«удовлетворительно»** означают успешное прохождение государственного аттестационного испытания, что является основанием для выдачи обучающемуся документа о высшем образовании и о квалификации образца, установленного Министерством образования и науки Российской Федерации.



**Примерный перечень тем выпускных квалификационных работ**

1. Разработка частотно-регулируемого электропривода нажимного устройства реверсивной клетки стана 2500 горячей прокатки ПАО «ММК»
2. Исследование многодвигательного электропривода механизма поворота конвертера
3. Разработка и исследование электропривода насосных станций по системе ПЧ-АД дробильно-обжигового цеха ГОП ПАО «ММК»
4. Исследование электропривода разматывателя АНО-ГЦ ЛПЦ №11 ПАО «ММК»
5. Разработка и исследование электропривода нажимных устройств толстолиствого стана 5000
6. Реконструкция механизма и системы электропривода скраповоза конверторного отделения ККЦ ПАО «ММК»
7. Разработка и исследование системы электропривода моталки агрегата непрерывного травления полосы ЛПЦ №5 ПАО «ММК»
8. Исследование автоматизированного электропривода чистой клетки стана 2000 ЛПЦ №10 ПАО «ММК»
9. Реконструкция электропривода лебёдки скипового подъёмника доменной печи №9 ПАО «ММК»
10. Разработка и исследование электропривода приточной камеры ПК-10
11. Разработка системы управления электроприводом шлаковоза ККЦ ПАО «ММК»