

Министерство науки и высшего образования РФ
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе

д.т.н. проф.

Драгунов В.К.

«*15*»

мая 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

специальной дисциплины

Специальность 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы
Профиль: Электротехнические комплексы и системы управления
движением

Смоленск 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности "Электротехнические комплексы и системы" в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование углубленных знаний в области теоретических и практических вопросов проектирования и исследования современного электрооборудования, входящего в состав электротехнических комплексов и систем.

Задачами дисциплины являются

- ознакомление с современными научными и практическими достижениями в области электротехнических комплексов и систем;
- углубленное изучение основных физических закономерностей и характеристик электротехнических комплексов и систем;
- углубленное изучение вопросов теории электропривода, как наиболее распространенного элемента электротехнических комплексов и систем, и способов его автоматического управления;
- изучение особенностей современного электрооборудования для электроснабжения промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства;
- приобретение навыков применения методов физического, математического, имитационного и компьютерного моделирования электротехнических комплексов и систем и их элементов;
- приобретение навыков оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем с учетом технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Научная специальность "Электротехнические комплексы и системы" объединяет исследования по общим закономерностям преобразования, накопления, передачи и использования электрической энергии и электротехнической информации, а также принципы и средства управления объектами, определяющие функциональные свойства действующих или создаваемых электротех-

нических комплексов и систем промышленного, транспортного, бытового и специального назначения. В рамках научной специальности объектами изучения являются электротехнические комплексы и системы генерирования электрической энергии, электропривода, электроснабжения, электрооборудования, электротехнологии и ремонт промышленных и сельскохозяйственных предприятий и организаций, транспортных средств, аэрокосмической техники, морских и речных судов, служебных и жилых зданий, специальной техники. Электротехнические комплексы и системы являются неотъемлемыми частями систем более высокого уровня или могут рассматриваться как самостоятельные технологические комплексы и должны обеспечивать эффективное и безопасное функционирование этих систем в широком диапазоне внешних воздействий.

Области исследований

1. Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, анализ системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая электромеханические, электромагнитные преобразователи энергии и электрические аппараты, системы электропривода, электроснабжения и электрооборудования промышленного назначения.

2. Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов

3. Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов, разработка алгоритмов эффективного управления.

4. Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов, систем и их компонентов в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях, диагностика электротехнических комплексов.

5. Разработка эффективного, экологичного и безопасного полного жизненного цикла электротехнических комплексов, включающего создание, эксплуатацию и утилизацию их компонентов.

Отрасль науки

Технические науки (по специальности не рассматриваются работы по электромеханическим преобразователям энергии, электрическим аппаратам, электротехническим материалам и изделиям, электротехнологическим устройствам и системам, устройствам силовой электроники, если последние не являются равновесными составными частями структуры электротехнического комплекса)

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Теория электропривода

Функции, выполняемые общепромышленным и тяговым приводом, и его обобщенные функциональные схемы. Характеристики электромеханического преобразователя энергии и его математическое описание в двигательном и тормозном режимах. Обобщенная электрическая машина как основной компонент электропривода. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Механические устройства. Нагрузка двигателя. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты). Гистерезисная муфта, гистерезисный электромагнитный тормоз.

Математические модели и структурные схемы электромеханических систем с электродвигателями разных типов.

Установившиеся режимы работы электропривода. Частотный и спектральный анализ. Учет упругих звеньев и связей. Учет нелинейностей. Построение адекватных моделей с использованием компьютерных технологий.

Переходные процессы в электроприводах. Линейные и нелинейные системы, передаточные и переходные функции электропривода. Примеры формирования оптимальных переходных процессов при разгоне и торможении электропривода с учетом процессов в рабочем механизме.

Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования линейных или нелинейных систем автоматизированного электропривода; представление и обработка результатов моделирования.

Регулирование координат электропривода. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь-двигатель постоянного тока, преобразователь частоты - асинхронный двигатель, преобразователь частоты - синхронный двигатель, системы с шаговыми двигателями, системы с вентильными двигателями, системы с гистерезисными двигателями, системы с линейными двигателями и сферы их применения. Основные характеристики приборных систем электроприводов.

Следящие электроприводы. Многодвигательные электромеханические системы. Тяговые электроприводы.

Вентильный электропривод на базе магнитоэлектрических и индукторных машин с обмоткой возбуждения и с самовозбуждением.

Гистерезисный электропривод с преобразователями частоты и напряжения, с управлением возбуждением приводного гистерезисного электродвигателя и регулированием намагниченности его ротора.

Выбор типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя. Основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

2. Автоматическое управление электроприводом

Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом. Типовые, функциональные схемы и типовые системы, осуществ-

ляющие автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей. Синтез систем с контактными и бесконтактными элементами. Принципы выбора элементной базы.

Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.

Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ. Применение методов вариационного исчисления и пакетов прикладных программ для ПЭВМ.

Системы управления электроприводами постоянного и переменного тока. Типовые структуры систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления электроприводов с тиристорными преобразователями. Системы с машинами двойного питания. Структура управления специальными приводами (тяговые, крановые, муфтовые и т.п.). Электроприводы механизмов с большими моментами инерции. Электроприводы в режиме синхронного вала. Многодвигательные электроприводы. Управление электроприводами с линейными двигателями.

Управление электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом. Стабилизирующие системы управления электроприводами. Защита от перегрузок и аварийных режимов.

Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных. Типовые узлы и типовые следящие САУ непрерывного и дискретного действия. Оптимальные и инвариантные САУ. Анализ и синтез следящих САУ с учетом стохастических воздействий. Цифровые САУ. Электроприводы в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах. Электроприводы в системах, реализующих мехатронные технологии. Применение микропроцессоров и микроЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств.

Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.

Надежность и техническая диагностика электроприводов.

3. Теория и принципы работы комплексных узлов электрооборудования

Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям). Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока и др.

Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования неавтономных и автономных стационарных и подвижных объектов. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.

Контактные и бесконтактные узлы систем управления электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах. Особенности проектирования. Элементная база силовых цепей электрооборудования (контакторы, резисторы, силовые полупроводниковые приборы).

4. Качество электрической энергии

Показатели качества электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям). Электромагнитная совместимость приемников электрической энергии с питающей сетью.

Средства улучшения показателей качества электроэнергии. Компенсация реактивной мощности в электроприводах и системах электроснабжения.

Основные направления развития компенсирующих устройств.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 6 семестр – кандидатский экзамен.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена

1. В чем состоят основные достоинства и недостатки полупроводниковых и электромашинных преобразователей напряжения?
2. Перечислите основные типы и схемы инверторов. Какая схема инвертора является самой распространенной и почему?
3. В чем состоят ограничения при использовании непосредственных преобразователей частоты переменного тока?
4. С какой частотой происходит переключение ключевых элементов в управляемых вентильных преобразователях? Назовите достоинства и недостатки больших частот переключения.
5. Перечислите отличия в принципах построения систем электрооборудования автономных и неавтономных объектов.
6. Перечислите отличия в принципах построения систем электрооборудования стационарных и подвижных объектов.
7. Перечислите отличия в принципах построения систем электрооборудования объектов общепромышленного и специального назначения.
8. Перечислите основные способы управления двигателями постоянного тока и варианты их реализации с помощью контакторов, резисторов, силовых полупроводниковых приборов.
9. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Формирование. Виды ШИМ.
10. Перечислите основные факторы и показатели, влияющие на выбор элементной базы силовых цепей электрооборудования.
11. Какие факторы и показатели учитываются при выборе типа электродвигателя?

12. Назовите совокупность из двух (или большего числа) качеств, присущих гистерезисному электроприводу и отсутствующих у других типов электроприводов.

13. Назовите совокупность из двух (или большего числа) качеств, присущих вентильному двигателю и отсутствующих у других типов электроприводов.

14. Каким образом управление гистерезисным двигателем приводит к повышению его энергетических показателей?

15. От чего зависит минимальный угол поворота шагового двигателя при различных способах управления?

16. В чем состоят отличия между вентильным двигателем и коллекторным двигателем постоянного тока?

17. Какие требования для следящих электроприводов является особенно важными? Перечислите варианты их выполнения.

18. Какими показателями нормируется качество электрической энергии?

19. Предложите методы и технические средства улучшения качества электрической энергии.

20. Дайте сравнительную характеристику устройств, используемых для компенсации реактивной мощности.

21. Предложите методы и средства повышения энергоэффективности в системах электроснабжения промышленных предприятий, организаций, транспорта и сельского хозяйства.

22. Расчетные схемы механической части электропривода (ЭП), типовые статические нагрузки, уравнение движения.

23. Механическая часть ЭП как объект управления, механические переходные процессы, динамические нагрузки ЭП.

24. Обобщенная электрическая машина, электромеханическая связь ЭП, координатные и фазные преобразования переменных обобщенной машины.

25. Динамика обобщенной разомкнутой электромеханической системы (ЭМС): математическое описание разомкнутых ЭМС, динамические свойства ЭП с линейной механической характеристикой, статическая устойчивость, демпфирование упругих механических колебаний, переходные процессы ЭП и методы их анализа.

26. Электроприводы на базе двигателей постоянного тока (независимого, последовательного, смешанного возбуждения), асинхронных двигателей (АД), синхронных двигателей (СД), вентильных двигателей (ВД): математическое описание процессов преобразования энергии, естественные и искусственные характеристики, способы регулирования координат ЭП и их техническая реализация, показатели регулирования.

27. Выбор мощности ЭП: потери энергии в установившихся и переходных режимах работы, нагревание и охлаждение двигателей, нагрузочные

диаграммы ЭП, номинальные режимы работы двигателей, методы проверки двигателей.

38. Основные показатели способов регулирования двигателей, обобщенная система «управляемый преобразователь – двигатель», принцип подчиненного регулирования координат ЭП, стандартные настройки контуров регулирования.

39. Регулирование момента (тока) и скорости электроприводов постоянного и переменного тока: техническая реализация, функциональные и структурные схемы, статические характеристики, применение регуляторов и особенности настройки подчиненных контуров регулирования, динамические показатели.

40. Математическое описание АД при частотном управлении. Уравнения АД для мгновенных значений переменных.

41. Характеристика и особенности прямого управления моментом асинхронного двигателя (АД). Математическая основа. Принципы.

42. Особенности частотного регулирования скорости АД: виды и техническая реализация преобразователей частоты, типовые частотные законы управления и статические характеристики, системы скалярного управления, принцип ориентирования по полю двигателя при частотном управлении, системы векторного управления.

43. Формирование синусоидальной ШИМ цифровым способом. Симплексные методы управления автономным инвертором напряжения (АИН).

44. Регулирование положения: автоматическое регулирование положения по отклонению, особенности настройки контура регулирования, точный останов, понятие следящего ЭП.

45. Релейно-контакторные схемы управления двигателями (РКСУ): электрические схемы и способы анализа РКСУ, принципы управления и типовые узлы, примеры выполнения РКСУ.

46. Дискретные логические системы управления (ДЛСУ) движением ЭП: математическое описание ДЛСУ, синтез ДЛСУ методом циклограмм, примеры синтеза узлов.

47. Построение ДЛСУ на основе цифровых узлов: на базе программируемой логической матрицы, аппаратного контроллера, программируемого логического контроллера.

48. Принципы управления ЭП на основе нечеткой логики. Области применения. Формы функций принадлежности. Алгоритм формализации задач в терминах нечеткой логики.

49. Понятие об адаптивном управлении электроприводов. Классификация адаптивных систем: самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, бесперисконовые и перисконовые. Принципы реализации перисконовых адаптивных систем. Примеры адаптивных систем.

50. Нейросетевые технологии в системах управления.

51. Система управления электропривода при двухзонном подчинённом регулировании координат: функциональная и структурная схемы, настройка зоны первой зоны регулирования, линеаризация второй зоны регулирования и её настройка. Статические характеристики и переходные процессы при двухзонным регулировании.

52. Микропроцессорные системы управления ЭП: особенности аппаратной реализации, интерфейсы связи и протоколы передачи данных, алгоритмы управления преобразовательными устройствами и их программная реализация.

53. Порядок синтеза САУЭП с помощью ЛАЧХ. Синтез САУЭП с помощью последовательной коррекции.

54. Порядок синтеза САУЭП с помощью ЛАЧХ. Синтез САУЭП с помощью параллельной коррекции.

55. Системы станочного привода с ЧПУ. Виды ЧПУ. Задачи, решаемые устройствами ЧПУ. Классификация систем ЧПУ. Понятие об интерполяции и адаптивных системах управления. Основные компоненты сервосистем.

56. Электрооборудование электрических сетей промышленных предприятий. Воздушные и кабельные линии, токопроводы. Троллейные сети. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, преобразовательные агрегаты. Коммутационные аппараты. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы замещения трансформаторов, линий электропередачи, электрической сети в целом. Выбор электрооборудования.

57. Структура низковольтных сетей. Коммутационно-защитная аппаратура в сетях на напряжении ниже 1 кВ. Совместный выбор сечений проводников и защищающих их аппаратов. Специфика расчета осветительных сетей.

58. Пуск и самозапуск электрических двигателей.

59. Основы релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия.

60. Корректоры коэффициента мощности (ККМ). Однофазные, трехфазные схемы. Способы коррекции коэффициента мощности.

61. Компенсация реактивной мощности как средство регулирования режимов электропотребления. Способы и средства компенсации реактивной мощности. Источники реактивной мощности. Выбор уровня и средств компенсации реактивной мощности в низковольтных сетях.

62. Требования нормативных документов по качеству электроэнергии, определение показателей качества электроэнергии. Основные потребители, ухудшающие качество электроэнергии. Способы и средства, позволяющие улучшить качество электроэнергии в сетях потребителей и в энергосистеме.

63. Асинхронные двигатели (АД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик. Пуск, регулирование частоты вращения, электрическое торможение АД с короткозамкнутым и фазным ротором. Векторное управление АД. Факторы, определяющие КПД

и массогабаритные показатели электропривода на базе асинхронного двигателя.

64. Вентильные двигатели (ВД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Типы электрических машин, датчиков положения ротора, коммутаторов, используемых в составе ВД. Особенности характеристик. Пуск, способы регулирования частоты вращения, электрическое торможение, реверсирование ВД. Бездатчиковое управление ВД. Векторное управление ВД. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе вентильного двигателя.

65. Гистерезисные двигатели и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик, способы управления. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе гистерезисного двигателя.

66. Многоуровневые варианты ПЧ. Виды многоуровневых АИН. Способы управления.

67. Частотный электропривод с активным фильтром гармоник (АФГ). Силовая схема. Принцип работы.

68. Частотный электропривод с АФГ. Активный выпрямитель в режиме компенсатора реактивной мощности и рекуператора. Силовая схема. Построение системы управления в режиме рекуператора и «кондиционера» сети.

69. Идентификация скорости и параметров АД. Идентификаторы на скользящих режимах и на идеях Эйкхоффа.

70. Заземление электроустановок.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны **Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Ильинский, Н. Ф. Основы электропривода. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 221с.
2. Быстрицкий Г.Ф., Гасангаджиев Г.Г., Кожиченков В.С. Общая энергетика (Производство тепловой и электрической энергии) // Учебник. М.: ООО «Издательство КноРус». 2014.
3. Грузков С. А. и др. Электрооборудование летательных аппаратов. Т. 1. Электроснабжение летательных аппаратов / Под ред. С.А. Грузкова. М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 567с.
4. Грузков С. А. и др. Электрооборудование летательных аппаратов. Т. 2. Системы и элементы электрооборудования – приемники электроэнергии/Под ред. Грузкова С.А. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. –550 с.
5. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. М: Московский энергетический институт. 2015 – 373с
6. Розанов Ю.К. Силовая электроника. М.: Изд.дом МЭИ, 2007, 496с
7. В. М. Терехов, О. И. Осипов. Системы управления электроприводов. – М. : Академия, 2005 . – 304 с.
8. В.В.Москаленко . Электрический привод.– М. : Академия, 2007 . – 368с.
9. Н.Ф.Ильинский, В.В.Москаленко Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. – М. : Академия, 2008 . – 208 с.
10. А.П. Балковой, В. К. Цаценкин Прецизионный электропривод с вентиляционными двигателями. – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 328 с.
11. Основы электрического транспорта / Под общ.ред. М.А. Слепцова. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 464с.
12. Системы электроснабжения электрического транспорта на постоянном токе. Учебник/ В.И. Сопов, Н.И. Щуров – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013
13. Данилов П.Е. Теория электропривода: учебное пособие / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. – М.:Берлин: Директ-Медиа, 2018. – 416 с.

14. Данилов П.Е. Управление частотно-регулируемым электроприводом: Конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». /Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В. – 2-е изд., испр. – Смоленск, 2012. – 100 с.

Дополнительная литература:

13. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения. М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 352 с.

14. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704с

15 . И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др. Управление качеством электроэнергии // Ред. Ю.В. Шаров. М.: Изд. дом МЭИ, 2008.

16. Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрифицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты. М.: Транспорт, 1980.

17. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / Под общ. ред. С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 745с.

18. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. М.: Энергоиздат, 1983.

19. О.И.Осипов. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 80 с.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Профессор кафедры электромеханических систем
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
доктор техн. наук, проф.

 С.П. Курилин

Заведующий кафедрой электромеханических систем
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
канд. техн. наук, доцент

 В.В. Рожков

Директор
филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске
док-р. техн. наук, профессор

 А.С. Федулов