

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
университет «МЭИ»
доктор технических наук, профессор
Драгунов Виктор Карпович



«14» декабря 2023 г.

**ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» на диссертационную работу Малафеева Алексея Вячеславовича «Повышение эффективности и надежности систем электроснабжения промышленных предприятий с собственной генерацией», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

На отзыв представлены:

- диссертация объемом 340 страниц полного текста, включающего 183 рисунка и 44 таблицы, состоящая из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 301 источника, и приложений;
- автореферат, в котором дана общая характеристика работы, кратко изложено содержание и приведены основные результаты работы.

1. Актуальность темы диссертации

Требование повышения эффективности и надежности функционирования электрохозяйства промышленных предприятий во многом обусловлено законами рыночной экономики. Снижение издержек, связанных с приобретением электроэнергии, ее выработки собственными подразделениями и передачей по заводским распределительным сетям, дает возможность снизить себестоимость товарной продукции, что позволяет повысить конкурентоспособность предприятия на внутреннем и внешнем рынках.

Один из путей достижения этого – увеличение объемов выработки собственной электроэнергии на предприятии, следствием которого является развитие электросетевого хозяйства, усложнение конфигурации электрических сетей, увеличение уровня напряжения, на котором осуществляется связь с энергосистемой. Согласованное развитие централизованного электроснабжения от сетей энергосистем и децентрализованного электроснабжения от местных источников электроэнергии в целях повышения надежности является одним из положений «Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации» (утверждена Указом Президента Российской Федерации №216 от 13 мая 2019 г.).

Объем и сложность задач, которые ложатся на оперативный персонал и структуры, обеспечивающие планирование режимов заводских электростанций и сетей, при этом возрастают, поэтому необходимо совершенствование подходов и методов управления

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>26.12.2023</u>
Фамилия регистратора _____

эксплуатационными режимами на основе методологии системного подхода по противоречивым критериям экономичности и надежности. В связи с этим тема диссертации соискателя Малафеева А.В., направленная на решение указанной научно-технической проблемы, является актуальной.

2. Научная новизна работы

Научную новизну содержат следующие положения диссертации:

1. Способ математического представления экономико-математических моделей (ЭММ) генерирующего оборудования промышленных электростанций в виде кусочно-линейных зависимостей топливных затрат от нагрузки, отличительной особенностью которого является возможность учёта различных топливных смесей и их состава при изменении производительности котлов.

2. Метод оптимизации распределения активных мощностей в системе электроснабжения промышленного предприятия с собственными неблочными электростанциями по критерию минимума затрат на выработку и распределение электроэнергии в условиях неопределенности исходных данных. Созданный метод отличается возможностью учета разрывности и недифференцируемости свойств ЭММ станционных агрегатов в условиях, когда сглаживание таких моделей привело бы к существенным ошибкам при выявлении оптимального режима. Неопределенность исходных данных учитывается за счет математического представления ЭММ станционных агрегатов и балансовых условий связи с энергосистемой на основе нечетких чисел.

3. Метод математического представления электрических нагрузок, основанный на задании их графиков в виде нечетких интервалов. Метод позволяет выполнять оперативную оценку ожидаемых величин нагрузок и параметров режима системы электроснабжения на основе плановых объемов производства; отличается от существующих возможностью моделирования нагрузок, графики которых не соответствуют нормальному закону распределения, что характерно практически для всех уровней промышленных систем электроснабжения.

4. Метод расчета эксплуатационных режимов систем электроснабжения, основанный на принципах последовательного эквивалентирования. Предложенный метод отличается от существующих большей универсальностью, гибкостью и удобной адаптацией к различным режимам систем электроснабжения, от нормальных до аварийных.

5. Методика выбора положений РПН силовых трансформаторов заводских понизительных подстанций по критериям минимума потерь мощности в сетях низшего напряжения и минимума износа переключателей, позволяющий учесть неопределенность информации о нагрузках в разомкнутых сетях внутрицехового и межцехового уровней распределения. Предложенный способ учета износа устройства РПН основан на характеристиках жизненного цикла актива и позволяет учесть остаточный коммутационный ресурс РПН и экономическую целесообразность его обслуживания и ремонта.

6. Метод оценки вклада собственных и сторонних потребителей и источников питания системы электроснабжения в потокораспределение, потери мощности и их стоимость, использующий результаты расчета потокораспределения. Метод позволяет при изменении нагрузки сторонних потребителей разрабатывать и реализовывать мероприятия по обеспечению наиболее полной компенсации стоимости потерь в системе электроснабжения предприятия со стороны потребителей-субабонентов.

7. Метод расчета надежности систем электроснабжения с собственными источниками электроэнергии при эксплуатации действующих систем электроснабжения и их реконструкции, включающий в себя оценку структурной надежности на основе принципов последовательного

эквивалентирования и оценку производственных рисков, связанных с нарушением электроснабжения потребителей и со снижением выдачи мощности собственными электростанциями. Разработана методика принятия решений при планировании реконструкции на основе критериев теории принятия решений в условиях неопределенности информации о нагрузке потребителей. Для оценки ущерба от недовыпуска продукции предложен способ, позволяющий учесть технологические и электрические взаимосвязи между потребителями.

3. Теоретическая значимость полученных результатов

Результаты диссертационной работы являются развитием теории и методов математического моделирования крупных промышленных систем электроснабжения с собственной генерацией. Соискателем создана научно-методическая основа для совершенствования методов планирования деятельности энергохозяйства промышленных предприятий, дальнейшего развития теории установившихся и оптимальных режимов, разработки более эффективных методов и алгоритмов решения задач управления эксплуатационными режимами систем электроснабжения.

4. Практическая значимость исследований

Практические результаты работы направлены на повышение экономичности и надежности систем электроснабжения за счет расширения перечня задач, решаемых при управлении режимами, учета неопределенности параметров режима и энергетического оборудования, специфических свойств промышленных электростанций и технологических особенностей потребителей, применении математического аппарата принятия решений в условиях риска и неопределенности.

Разработанные метод оптимизации выработки активной мощности собственными электростанциями промышленного предприятия и методика выбора экономически целесообразного уровня напряжения на понизительных подстанциях обеспечивают снижение затрат на выработку, приобретение и передачу электроэнергии. Следствием является снижение доли энергозатрат в себестоимости готовой продукции предприятия и повышение его конкурентоспособности. Метод предполагает использование предложенного в работе математического представления экономико-математических моделей генерирующего оборудования заводских электростанций, особенностью которых является учет зависимости состава топливной смеси котлоагрегатов от паропроизводительности при использовании нескольких видов энергоресурсов при решении задачи оптимизации режима заводской системы электроснабжения.

Разработанный метод математического представления электрических нагрузок при помощи нечетких интервалов дает возможность на основе плановой производительности цеха, участка, технологической линии выполнить оперативную оценку ожидаемого суточного графика нагрузки. Метод расчета установившегося режима позволяет обеспечить гарантированное отыскание решения в условиях систем электроснабжения крупных предприятий, для которых характерно преобладание разомкнутых сетей над замкнутыми, несколько узлов примыкания к региональной энергосистеме, собственные источники электроэнергии на различных уровнях напряжения. Разработанный метод оценки вклада в потокораспределение и потери мощности в системе электроснабжения отдельных потребителей и источников питания позволяет обеспечить наиболее полную компенсацию стоимости потерь электроэнергии сторонними потребителями

предприятия при оказании им услуг по передаче электроэнергии, а также обоснованно оценивать переменные издержки при планировании эксплуатационных режимов.

Разработанный метод расчета надежности системы электроснабжения на основе показателей структурной надежности и количественной оценки производственных рисков позволяет оценить ущерб от нарушения электроснабжения цеховых потребителей и от нарушения выдачи мощности собственными электростанциями на основе экспертных оценок вероятности аварийных отключений и времени восстановления при недостаточном объеме статистической информации.

Предложенные соискателем методы, методики и алгоритмы расчета, оптимизации и принятия решений успешно используются при управлении режимами системы электроснабжения и собственных электрических станций ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», что подтверждено актами внедрения (приведены в Приложении). Выполнено 11 хоздоговорных НИОКР и 4 госбюджетных НИР (в т.ч. НИР по гранту РФФИ, федеральным и ведомственным программам). Разработанные алгоритмы расчета установившихся режимов и их оптимизации использованы при создании программно-вычислительного комплекса КАТРАН, на который получено свидетельство о государственной регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности «Роспатент». Госбюджетные НИР, направленные на совершенствование математического аппарата планирования и управления режимами крупных систем промышленного электроснабжения, выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования и науки и Российского фонда фундаментальных исследований.

Результаты диссертации используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при реализации образовательных программ бакалавриата и магистратуры и при руководстве выпускными квалификационными работами. Разработанное программное обеспечение используется студентами бакалавриата, магистрантами и аспирантами в ходе научно-исследовательской деятельности.

5. Общая характеристика работы

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, объект и предмет исследования, методология и методы исследования, новизна основных научных положений, представлена практическая значимость полученных результатов, соответствие паспорту избранной научной специальности, публикации, апробация и внедрение результатов работы.

В *первой главе* дана общая характеристика системы электроснабжения современного крупного промышленного предприятия с собственными электрическими станциями и ее взаимосвязи с подсистемами электроэнергетики. Сформулированы характерные черты такой системы промышленного электроснабжения и осуществлено сопоставление с территориальной электроэнергетической системой промышленного региона. Подробно рассмотрено взаимодействие с энергосбытовыми и электросетевыми организациями, сторонними потребителями, подсистемами предприятия. Охарактеризованы системные свойства энергохозяйства предприятия. Осуществлен критический анализ публикаций в исследуемой области. По результатам первой главы сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе рассмотрены вопросы разработки экономически целесообразных режимов систем электроснабжения промышленного предприятия с собственной генерацией. Глава занимает центральное место в структуре работы. Критерием оптимальности принят минимум переменной составляющей затрат на собственную выработку, передачу электроэнергии и ее покупку у компании – гарантирующего поставщика. Даны ограничения по располагаемой мощности станционного оборудования и балансу мощностей в системе электроснабжения. Для задачи планирования графика выработки собственной электростанции на очередные сутки в качестве основной выделена задача определения оптимального соотношения вырабатываемой и покупаемой электроэнергии в часы наименьших цен рынка «на сутки вперед». Основным результатом главы является метод оптимизации, предусматривающий декомпозицию общей задачи на три основных подзадачи. Уравнения связи котлов и турбоагрегатов заводских электростанций предлагается представлять в кусочно-линейной форме для учета влияния состава топливной смеси на топливные издержки. Неточность задания характеристик агрегатов и баланса активных мощностей предложено учитывать использованием теории нечетких множеств.

Третья глава посвящена получению математических моделей электрических нагрузок на цеховом и внутрицеховом уровнях заводской системы электроснабжения. Изложен разработанный метод математического представления графиков нагрузки в виде нечетких интервалов, являющийся основным результатом третьей главы. Осуществлена оценка погрешности предложенного подхода. Предложен способ оперативной оценки графика нагрузки производственного подразделения по ожидаемой производительности и типовому графику по данным контрольных замеров.

В четвертой главе рассмотрены вопросы определения параметров установившихся эксплуатационных режимов крупных систем промышленного электроснабжения. Рассмотрен метод расчета режимных параметров, основанный на принципах последовательного эквивалентирования. Метод предполагает единый подход к формированию схем замещения элементов системы электроснабжения и предусматривает преобразования схемы на основе ее топологии без составления систем алгебраических уравнений. Кроме того, рассмотрены особенности расчета режимов систем внешнего электроснабжения крупных предприятий напряжением 220 кВ и выше, предусматривающего участие в расчетах прилегающих сетей региональной энергосистемы. В заключительной части главы даны основные свойства предложенного метода в сравнении с решением уравнений состояния методом Ньютона и в сравнении с методами эквивалентирования при упрощении уравнений состояния. Результаты четвертой главы используются в работе при расчете потерь активной мощности и оптимальных уровней напряжения.

Пятая глава посвящена способам улучшения экономических показателей заводских электрических сетей. Соискателем выделено два пути повышения экономичности – экономически целесообразное регулирование напряжения силовыми трансформаторами главных понизительных подстанций и повышение степени компенсации стоимости потерь электроэнергии сторонними потребителями. При регулировании напряжения рассмотрены случаи получения информации по щитовым приборам и от системы телеизмерений. Предложено при оценке целесообразности изменения напряжения учитывать коммутационный ресурс РПН и экономическую целесообразность его восстановления. Для совершенствования системы оплаты услуг по передаче электроэнергии сторонними потребителями заводских распределительных сетей разработан метод определения вклада в стоимость потерь электроэнергии потребителей и источников питания.

Шестая глава посвящена вопросам надежности заводских систем электроснабжения, ее количественной оценке и учету показателей надежности при планировании эксплуатационных режимов. Разработан и изложен метод расчета показателей надежности сложносвязанных сетей на основе принципов последовательного эквивалентирования. Предусмотрен учет потокораспределения в схеме для определения участия ее элементов в электроснабжении определенного потребителя или выдачи мощности какой-либо собственной электростанцией. Представлена блок-схема принятия решений с учетом надежности при планировании режима. При недостатке статистической информации об отключениях предложен подход, основанный на положениях теории рисков, при этом риск количественно оценивается в виде нечеткой величины ущерба. Для расчета ущерба при нарушении электроснабжения технологически связанных потребителей разработан способ, использующий правила нечеткого вывода.

В заключительной части главы приведены сведения о внедрении результатов диссертационной работы на производстве и о выполненных госбюджетных научно-исследовательских работах и грантах.

Заключение обобщает основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложениях даны акты внедрения и приведена оценка погрешности метода разработки оптимальных режимов, рассмотренного во второй главе.

Представленное изложение структуры и содержания диссертационной работы свидетельствует о единстве ее внутреннего содержания и последовательном и объективном изложении полученных результатов.

6. Соответствие автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, содержит информацию об основных положениях и выводах диссертации, позволяет сделать заключение о научном уровне работы, ее содержании и полностью отражает научные положения, результаты, основные выводы, научную новизну и практическую значимость диссертации.

7. Обоснованность и достоверность результатов диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, теоретических выводов, результатов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием математического аппарата и апробированных математических пакетов обработки данных, подтверждается соответствием результатов теоретического анализа и вычислительных экспериментов, результатами обсуждения положений работы на научных мероприятиях, а также результатами внедрения части результатов на производстве.

8. Соответствие диссертации паспорту заявленной научной специальности

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы (далее – курсивом по тексту паспорта) по следующим направлениям исследований:

– п.1 «...анализ системных свойств и связей, ... математическое ... и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем, включая ... системы ... электроснабжения» (анализ системных свойств системы электроснабжения крупного градообразующего промышленного предприятия, математические модели его электрических нагрузок и экономико-математические модели генерирующего оборудования собственных

электростанций, метод оценки вклада в потокораспределение и потери мощности системы электроснабжения потребителей и источников питания, способ оценки ущерба от нарушения электроснабжения при наличии электрических и технологических связей между потребителями);

– п.2 «*Разработка научных основ ... эксплуатации электротехнических комплексов, систем ...*» (критерий оптимальности распределения мощностей между собственными электростанциями, критерий выбора экономически целесообразных положений РПН с учетом их ресурса, критерий оценки надежности систем электроснабжения при планировании эксплуатационных схем и мероприятий по реконструкции),

– п.3 «*...оптимизация электротехнических комплексов, систем..., разработка алгоритмов эффективного управления*» (метод оптимизации потокораспределения в системе электроснабжения с собственными электростанциями, методика выбора экономически целесообразных уровней напряжения в заводских сетях 3–10 кВ, программное обеспечение – советчик диспетчера);

– п.4 «*Исследование ... качества функционирования электротехнических комплексов, систем ... в различных режимах*» (метод расчета установившихся режимов, метод расчета надежности систем электроснабжения на основе показателей структурной надежности и количественной оценки производственных рисков).

9. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Основные научные результаты рекомендуются к применению на любых энергоемких производствах со сложными системами электроснабжения, в первую очередь, располагающих собственными ТЭЦ. Основная область использования – оперативное управление и планирование эксплуатационных режимов диспетчерскими службами главного энергетика, цехов электрических сетей и подстанций и аналогичных подразделений, сменным персоналом электрических станций, службами и группами режимов. Разработанные способы, методы, методики могут быть использованы при проектировании систем электроснабжения для проведения уточненных расчетов рассматриваемых вариантов схем. Ряд положений работы может быть использован производственными отделами управлений главного энергетика для разработки производственных программ заводских электростанций и цехов электрических сетей и подстанций. Материалы диссертации в целом рекомендуются к использованию в учебном процессе учреждений высшего образования.

10. Публикации и апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 26 научно-технических конференциях различного уровня.

Все основные результаты диссертации опубликованы в статьях в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК или приравненных к ним: 23 статьи в журналах из перечня ВАК, 7 статей в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Получено также 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и одно свидетельство – о регистрации базы данных.

Опубликованные по результатам исследований материалы достаточно полно отражают основное содержание диссертации, имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

Автореферат в достаточно полной мере отражает сущность диссертационной работы А.В. Малафеева.

11. Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. В системе ограничений (2.3)–(2.11) не учтены максимально допустимые перетоки по условиям статической устойчивости по линиям связи с энергосистемой.

2. В работе ничего не говорится об оптимизации режимов в условиях функционирования на предприятиях не только паротурбинных, но и газотурбинных и парогазовых установок.

3. Не поясняется необходимость использования для линий электропередачи взамен традиционных П-образных схем замещения Т-образных схем замещения (рис. 4.3).

4. Ничего не говорится об оптимальном распределении мощности, принимаемой из энергосистемы, между линиями связи.

5. В работе не оценивается влияние участия котлоагрегатов заводских электростанций в суточном регулировании активной мощности на их эксплуатационный ресурс.

6. В гл. 3 желательно было бы выполнить оценку предлагаемого метода математического представления нагрузок не только для конкретных цехов, но и для некоторых типовых сочетаний электроприемников.

7. Не ясно, каким образом при оценке показателей надежности может учитываться работа сетевой автоматики, обеспечивающей повышение надежности (АВР, АПВ и т.д.).

8. Поскольку в диссертации рассматривается, в числе прочего, и годовой горизонт планирования режимов, желательно бы было рассмотреть вопрос выбора оптимальных положений переключателей ПБВ цеховых трансформаторов 10/3–6 кВ и 10/0,4 кВ.

Отмеченные замечания не снижают значение и ценность полученных в диссертации основных научных и практических результатов.

12. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842

Соответствие п.9. Диссертационная работа Малафеева А.В. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой разработаны теоретические положения, направленные на повышение эффективности и надежности систем электроснабжения крупных промышленных предприятий путем совершенствования методов и подходов к управлению их эксплуатационными режимами.

Соответствие п.10. Диссертационная работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку. Положения диссертации в достаточной степени аргументированы.

Соответствие п.п. 11, 12, 13. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Количество публикаций соответствует установленным требованиям.

Соответствие п.14. Диссертация соответствует требованиям в отношении ссылок на авторов и источники заимствований материалов или отдельных результатов.

13. Общее заключение по диссертации

Диссертация Малафеева Алексея Вячеславовича «Повышение эффективности и надежности систем электроснабжения промышленных предприятий с собственной генерацией» на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научно-

квалификационной работой, в которой на базе исследований, выполненных автором, разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, в котором сформулирована новая концепция и научно-технические решения в области управления и планирования эксплуатационных режимов систем промышленного электроснабжения с заводскими электростанциями, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

Работа выполнена самостоятельно, обладает внутренним единством, актуальность, научная новизна, практическая значимость соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание доктора технических наук, изложенным в п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842, а ее автор, Малафеев Алексей Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Диссертация соискателя Малафеева Алексея Вячеславовича рассмотрена, а отзыв на нее утвержден на заседании кафедры электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», протокол № 7 от « 14 » декабря 2023 г.

Заведующий кафедрой
электроснабжения промышленных
предприятий и электротехнологий
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
канд. техн. наук, доцент



Цырук Сергей Александрович

Профессор кафедры
электроснабжения промышленных
предприятий и электротехнологий
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
доктор техн. наук



Янченко Сергей Александрович



Сергей Александрович
уверено

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ ПО РАБОТЕ С ПЕРВОУЧЕНЫМИ
Л.И. ПОЛЕВАЯ



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

Адрес: 111250, Российская Федерация, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14

Телефон/факс: 8 (495) 362-75-60 / 8 (495) 362-89-38

Эл. почта: universe@mpei.ac.ru

Сайт: <http://www.mpei.ru>

Драгунов Виктор Карпович, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доктор технических наук по специальности 05.03.06 «Технологии и машины сварочного производства», профессор

Адрес: 111250, Российская Федерация, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14.

Телефон: 8 (495) 362-74-47

Эл. почта: DragunovVK@mpei.ru

Цырук Сергей Александрович, заведующий кафедрой Электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кандидат технических наук по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы, включая их управление и регулирование», доцент

Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.17, стр.8, каф. ЭППЭ

Телефон 8 (495) 362-76-79

Эл. почта: TsyrukSA@mpei.ru

Янченко Сергей Александрович, профессор кафедры Электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», доктор технических наук по специальности 2.4.2 «Электротехнические комплексы и системы

Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.17, стр.8, каф. ЭППЭ

Телефон 8 (495) 362-76-79

Эл. почта: YanchenkoSA@mpei.ru