

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.6
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.09.2026 № 10

О присуждении Сусликову Павлу Константиновичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Управление спросом на электроэнергию автономных электротехнических комплексов путём идентификации паттернов и классификации нагрузок» по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы принята к защите 14.07.2026, протокол заседания № 4, диссертационным советом ГУ.6 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета 06.02.2023 № 154 адм, с изменениями от 31.08.2023 №1193 адм, от 30.07.2024 №1212 адм, от 01.07.2026 № 732 адм.

Соискатель, Сусликов Павел Константинович, 23 июля 1999 года рождения, в 2023 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по специальности 21.05.04 Горное дело.

С 18.09.2023 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры электроэнергетики и электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре электроэнергетики и электромеханики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Жуковский Юрий Леонидович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», энергетический факультет, декан факультета.

Официальные оппоненты:

Суслов Константин Витальевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, профессор кафедры;

Клюев Роман Витальевич – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», заведующий кафедрой; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном Кутеповым Антоном Григорьевичем, кандидатом технических наук, и.о. заведующего кафедрой «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности», Решетняком Сергеем Николаевичем, доктором технических наук, доцентом, профессором той же кафедры, и утвержденном Филоновым Михаилом Рудольфовичем, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям, указала, что полученные Сусликовым Павлом Константиновичем результаты развивают методические подходы к повышению эффективности автономных электротехнических комплексов с гибридной генерацией за счёт идентификации паттернов электропотребления, количественной оценки потенциала управления спросом и классификации электрических нагрузок по допустимым видам управляющих воздействий; и имеют практическую значимость в возможности использования разработанных методов и алгоритмов при создании систем энергетического менеджмента и оптимального управления автономными электротехническими комплексами, проведении энергетических обследований и ранжировании электроприёмников по потенциальному эффекту от применения технологии управления спросом, а также при разработке цифровых двойников и сравнительной оценке вариантов внедрения технологии управления спросом, систем накопления электроэнергии и расширения генерации.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 6 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus/WoS. Получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Общий объем – 4,38 печатных листов, в том числе 3,38 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Жуковский, Ю.Л. Многомерная классификация нагрузки с учетом целей управления спросом на электроэнергию / Ю.Л. Жуковский, **П.К. Сусликов** // Энергия единой сети. – 2024. – № 3-4(74). – С. 30-38.

На основе анализа стратегий управления спросом и индикаторов эффективности соискателем предложена многомерная классификация нагрузок: вариативные, скользящие, гибкие, мигрирующие и пассивные. Соискателем доказано, что классификация может служить основой для цифровой платформы управления спросом и синтеза управляющих воздействий для управления нагрузкой.

2. Жуковский, Ю.Л. Повышение энергоэффективности автономных электротехнических комплексов на основе классификации нагрузок и алгоритмов DSM / Ю.Л. Жуковский, **П.К. Сусликов**, П.В. Яковлев // Промышленная энергетика. – 2026. – № 1. – С. 31-40.

Соискателем математически описаны модели управления вариативными, скользящими и гибкими нагрузками, определены параметры алгоритмов DSM и выполнена их оптимизация с применением коэволюционного алгоритма CC-PSO в MATLAB/Matpower.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus/WoS):

3. Жуковский, Ю.Л. Оценка потенциального эффекта применения технологии управления спросом на горных предприятиях / Ю.Л. Жуковский, **П.К. Сусликов** // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16, № 3(61). – С. 895-908. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-3-895-908.

Соискателем обоснована необходимость количественной оценки потенциала вовлечения нагрузки в DSM на стадии проектирования предприятий горной промышленности. Соискателем доказана возможность использования DSM для повышения энергоэффективности, снижая максимум нагрузки и эксплуатационные затраты электротехнического комплекса.

4. Жуковский, Ю.Л. Идентификация и классификация электрической нагрузки горных предприятий на основе методов декомпозиции сигналов / Ю.Л. Жуковский, **П.К. Сусликов** // Записки Горного института. - 2025. - Т. 275. - С. 5-17. EDN HPZAGK.

Соискателем разработан алгоритм идентификации паттернов электропотребления на основе декомпозиции временных рядов методом сингулярного разложения. Соискателем получены устойчивые недельные, суточные и внутрисуточные паттерны потребления.

5. Zhukovskiy, Y.L. NILM-Based Feedback for Demand Response: A Reproducible Binary State-Detection Algorithm Using Active Power / Y.L. Zhukovskiy, **P.K. Suslikov**, D.L. Rasputin // Electricity. – 2026. – Vol. 7 (1), No. 23. – DOI: 10.3390/electricity7010023.

Жуковский, Ю.Л. Обратная связь на основе NILM для управления спросом на электроэнергию: воспроизводимый алгоритм определения двоичного состояния с использованием признаков агрегированного ряда активной мощности / Ю.Л. Жуковский, **П.К. Сусликов**, Д.Л. Распутин // Electricity. – 2026. – Том. 7 (1), №. 23. – DOI: 10.3390/electricity7010023.

Соискателем разработан и реализован воспроизводимый алгоритм определения бинарных состояний электрических нагрузок по агрегированному временному ряду активной мощности для задач формирования обратной связи в системах управления спросом.

Публикации в прочих изданиях:

6. **Сусликов, П.К.** Определение скрытых зависимостей множественных временных рядов потребления электроэнергии с целью классификации и управления профилями нагрузки / **П.К. Сусликов**, Ю.Л. Жуковский // Электроэнергетика глазами молодёжи-2024 : Материалы XIV Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Ставрополь, 01-04 октября 2024 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2024. – С. 127-130.

Соискателем разработан и апробирован алгоритм, позволяющий определять зависимости между временными рядами потребления электроэнергии на уровне компонент разложения сингулярного спектрального анализа.

Апробация работы проведена на научных конференциях международного и всероссийского уровня:

– XIV Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодёжи» (30 сентября – 04 октября 2024 г., г. Ставрополь);

- Международная научно-практическая конференция «Транспорт. Взгляд в будущее» (7-8 ноября 2024 г., г. Санкт-Петербург);
- Первая международная конференция «Искусственный интеллект и цивилизация будущего» (29 января 2025 г., г. Тегеран, Исламская Республика Иран);
- V Всероссийская с международным участием молодёжная конференция «Бутаковские чтения» (09-11 декабря 2025 г., г. Томск);
- XXXIV Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2026» (02-06 февраля 2026 г., г. Москва);
- XV Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодёжи» (23-27 марта 2026 г., г. Иваново);
- XXI Всероссийская конференция-конкурс проектов студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (6-10 апреля 2026 г., г. Санкт-Петербург).

В диссертации Сусликова Павла Константиновича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: доцента Байкальского института БРИКС ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», к.т.н., доцента **И.Н. Шушпанова**; технического директора ООО «ГЦЭ-Энерго», к.т.н. **В.Г. Тарасовского**; технического директора ООО «Академия КЭТ», руководителя учебного центра ООО «НТЦ» Механотроника», к.т.н. **К.В. Бабыря**; главного специалиста отдела устойчивости и противоаварийной автоматики Службы электрических режимов Филиала АО «СО ЕЭС» Новосибирское РДУ, к.т.н. **Г.Б. Нестеренко**; эксперта ООО «Лаборатория инжиниринга», к.т.н. **Я.М. Мальковой**; профессора кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», д.т.н., профессора **Г.П. Корнилова** и доцента той же кафедры, д.т.н., доцента **О.В. Газизовой**.

1. В автореферате не раскрыт механизм учёта неопределённости прогноза выработки ВИЭ при расчёте индекса DR PI. Используется ли детерминистическая оценка по фактическим данным или предполагается вероятностное моделирование (**к.т.н. И.Н. Шушпанов**)?

2. Для класса «мигрирующей» нагрузки указано пространственно-временное перераспределение между центрами питания, однако в автореферате не приведены критерии выбора оптимального центра питания с

учётом ограничений пропускной способности сети и потерь (**к.т.н. И.Н. Шушпанов**).

3. Желательно было бы более подробно описать интерфейс интеграции предложенных алгоритмов в существующие системы управления микросетями (SCADA, промышленные контроллеры), поскольку в работе упоминается перспектива полунатурного моделирования (Hardware-in-the-Loop), но не указаны текущие прототипы (**к.т.н. И.Н. Шушпанов**).

4. Требуется дополнительное пояснение необходимости одновременного использования терминов «кластеры» и «паттерны», а также разграничение их смыслового содержания в рамках предлагаемого подхода (**к.т.н. В.Г. Тарасовский**).

5. Представляется целесообразным уточнить, учитывается ли при оптимизации режимов работы автономного электротехнического комплекса изменение КПД генерирующих мощностей при изменении величины и структуры спроса на электроэнергию (**к.т.н. В.Г. Тарасовский**).

6. Метод SSA требует накопления достаточно длинного временного ряда (окна) для корректной декомпозиции. В автореферате не уточняется, как предлагается решать проблему «холодного старта» или адаптации метода при резком изменении состава оборудования или технологического процесса на предприятии. Также остаётся открытым вопрос вычислительной сложности: возможно ли применение данного алгоритма на промышленных контроллерах (микросетях) в режиме реального времени или же он является исключительно инструментом предпроектного анализа (**к.т.н. К.В. Бабырь**)?

7. При оценке технико-экономических характеристик в автореферате в явном виде не указаны технические, экономические показатели и показатели надёжности устройств накопления энергии, а также солнечной и ветровой генерации. Помимо OPEX, в дальнейшем было бы актуально рассмотреть влияние CAPEX на разработанные системы управления спросом (**к.т.н. К.В. Бабырь**).

8. Как правило, под управлением спросом понимают изменение потребления электроэнергии потребителями в ответ на изменение цен на электроэнергию, или в ответ на стимулирующие выплаты, или при наличии угрозы системной надёжности. Подразумевается, что производители и потребители энергии – это разные субъекты, между ними существуют рыночные отношения. В случае автономных электротехнических комплексов производитель и потребитель энергии – это зачастую один и тот же субъект – собственник промышленного объекта, который самостоятельно устанавливает режим его работы. Корректно ли в таком случае изменение режима

потребления электроэнергии называть управлением спросом (к.т.н. **Г.Б. Нестеренко**)?

9. В работе сформирована модель электротехнического комплекса промышленного предприятия, однако в автореферате не сказано, повторяет ли эта модель реальный объект или составлена произвольно. Понятно, что модель можно составить так, что предложенные методы будут эффективны. На реальном же предприятии доля нагрузки, технологический режим которой изменять недопустимо, может оказаться настолько высокой, что предложенный подход будет бесполезен. Оценивалась ли в работе распространённость объектов, для которых её результаты применимы (к.т.н. **Г.Б. Нестеренко**)?

10. В автореферате используется аббревиатура «СНЭЭ», но нет её расшифровки (к.т.н. **Г.Б. Нестеренко**).

11. Не до конца обоснована конструкция DR PI. Индекс состоит из трёх компонентов: доля гибкой энергии; концентрация гибкой энергии во времени; динамика потребления. Почему именно данные три фактора являются достаточными (к.т.н. **Я.М. Малькова**).

12. В работе недостаточно чётко конкретизировано, какие именно типы автономных электротехнических комплексов рассматриваются в качестве объекта исследования и в какой степени полученные результаты могут быть распространены на ЭТК, отличающиеся структурой генерации, составом оборудования, характером нагрузки и схемой электроснабжения. Кроме того, требует дополнительного обоснования полнота предложенной классификации электроприемников: не вполне ясно, почему именно выделенных пяти типов нагрузок достаточно для описания многообразия электроприёмников, встречающихся в рассматриваемых автономных ЭТК, и как классифицируются нагрузки, сочетающие признаки нескольких предложенных классов (к.т.н. **Я.М. Малькова**).

13. Характеристики, приведенные на рис. 11 для ДГУ, ВЭС и СЭС, следовало бы привести к единым стоимостным показателям (д.т.н. **Корнилов** и д.т.н. **Газизова**).

14. Не указано, как определялись операционные затраты по сравниваемым вариантам и чем обусловлено их снижение на 21,5 % (стр. 15) (д.т.н. **Корнилов** и д.т.н. **Газизова**).

15. Традиционно для схем с ВИЭ не указывают инвертор напряжения (рис. 8). Учитывалось ли его наличие в технико-экономических расчётах (д.т.н. **Корнилов** и д.т.н. **Газизова**)?

16. На рис. 8 число графиков не соответствует числу указанных шин, а приведённые значения реактивной мощности для шины 4 требуют обоснования (д.т.н. Корнилов и д.т.н. Газизова).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика выявления индивидуальных паттернов электропотребления, основанная на декомпозиции временного ряда методом сингулярного спектрального анализа и последующей кластеризации компонент в амплитудно-частотном пространстве, позволяющая определить характерные особенности изменения электрической нагрузки и использовать их для количественной оценки потенциала управления спросом на электроэнергию;

предложены критерий количественной оценки потенциала применения технологии управления спросом на электроэнергию в автономных ЭТК с гибридной генерацией в виде интегрального индекса потенциала управления спросом DR PI и классификация электрических нагрузок по допустимым видам управляющих воздействий;

доказана возможность повышения эффективности автономных ЭТК с гибридной генерацией за счёт применения технологии управления спросом, основанной на предложенной классификации электроприёмников, выражающаяся в снижении операционных затрат, уменьшении числа кратковременных пусков дизельных агрегатов, исключении их работы на малой нагрузке, повышении КИУМ ВИЭ и снижении прямых выбросов парниковых газов;

введены интегральный индекс потенциала управления спросом DR PI, характеризующий потенциал участия нагрузки в программах управления спросом, а также пять классов электрических нагрузок – вариативные, скользящие, гибкие, мигрирующие и пассивные нагрузки.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения об устойчивости идентификации паттернов потребления ЭЭ при представлении компонент сингулярного спектрального анализа на амплитудно-частотной плоскости, а также положения о возможности количественной оценки потенциала управления спросом на основе структуры паттернов временного ряда;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс методов анализа временных рядов, включающий сингулярный спектральный анализ, частотный анализ и кластеризацию данных, статистические методы оценки устойчивости и согласованности результатов, методы математического и имитационного моделирования ЭТК, методы оптимизации на основе роя частиц, а также программные средства MATLAB, MATPOWER и MOST для расчёта установившихся режимов ЭТК;

изложены положения по переходу от временного ряда электропотребления к идентификации паттернов, расчёту интегрального индекса потенциала управления спросом, классификации электроприёмников и по формированию допустимых управляющих воздействий;

раскрыты ограничения существующих подходов к оценке гибкости электрической нагрузки и управлению спросом, заключающиеся в недостаточном учёте временной структуры электропотребления, технологических ограничений конкретных электроприёмников и невозможности непосредственного перехода к адресному управляющему воздействию на отдельные классы нагрузок;

изучены взаимосвязи между структурой временного ряда электропотребления и потенциалом управления спросом, между свойствами электрической нагрузки и допустимыми видами управляющих воздействий;

проведена модернизация подхода к определению гибкости электрической нагрузки и потенциала управления спросом на электроэнергию автономных ЭТК с гибридной генерацией; классификации электроприёмников по принципу допустимых управляющих воздействий для целей управления спросом.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в производственную деятельность ООО «ГЦЭ-Энерго» результаты диссертационного исследования в области оценки потенциала технологии управления спросом на электроэнергию в автономных ЭТК, что подтверждено актом о внедрении от 21.04.2026 г.; разработан алгоритм выявления паттернов во временных рядах электропотребления на основе группировки результатов сингулярного разложения, для которого получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662691;

определены область и перспективы практического применения разработанных методик для количественной оценки потенциала управления спросом, ранжирования электрических нагрузок по возможности участия в

управлении, формирования адресных управляющих воздействий с учётом технологических ограничений электроприёмников и оптимизации режимов автономных электротехнических комплексов с дизельной и возобновляемой генерацией;

создана расчётная модель автономного ЭТК промышленного предприятия с алгоритмом внешней оптимизации параметров управления спросом, позволяющая проводить экономическую оценку сценария реализации технологии управления спросом;

представлены рекомендации по использованию предложенной классификации электрических нагрузок в качестве основы для выработки управляющих воздействий по управлению спросом, применению индекса DR PI для предварительной количественной оценки потенциала управления спросом.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ обеспечена воспроизводимость вычислительных экспериментов за счёт определения фиксированных параметров: инициализационное число алгоритма k-means, размер окна сингулярного спектрального анализа, а также за счёт детального описания параметров модели;

теория построена на известных и апробированных методах анализа временных рядов, математического и имитационного моделирования электротехнических комплексов, кластерного анализа и решения оптимизационных задач;

идея базируется на результатах анализа подходов к управлению спросом, и состоит в реализации технологии, включающей: определение паттернов электропотребления, оценку потенциала DSM и классификацию нагрузок для формирования адресных управляющих воздействий;

использованы сопоставление результатов, полученных соискателем при моделировании автономного ЭТК с применением технологии управления спросом с результатами, представленными в научной литературе, а также с параметрами работы действующих предприятий;

установлено соответствие сформированной компьютерной модели автономного ЭТК зафиксированным данным, установлена согласованность полученных расчётных результатов с заданными балансовыми, сетевыми и техническими ограничениями элементов системы электроснабжения;

использованы современные методы сбора, подготовки и обработки временных данных электропотребления и генерации, методы сингулярного спектрального и частотного анализа, кластеризации и статистической оценки устойчивости результатов.

Личный вклад соискателя состоит в: непосредственном участии на всех этапах исследования, включая анализ отечественных и зарубежных исследований, разработку метода выявления индивидуальных паттернов графика электропотребления и интегрального индекса потенциала управления спросом, разработку классификации электрических нагрузок, формирование оптимизационной модели управления спросом с использованием расчётного ядра MATPOWER/MOST и алгоритма CC-PSO, построение компьютерной модели автономного ЭТК промышленного предприятия, проведение моделирования, обработку и интерпретацию результатов, оценку экономического, технологического и экологического эффектов от реализации предложенного подхода к управлению спросом на электроэнергию, апробацию основных результатов диссертационного исследования на научно-практических мероприятиях.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель **Сусликов Павел Константинович** ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию по обоснованию положений диссертационной работы.

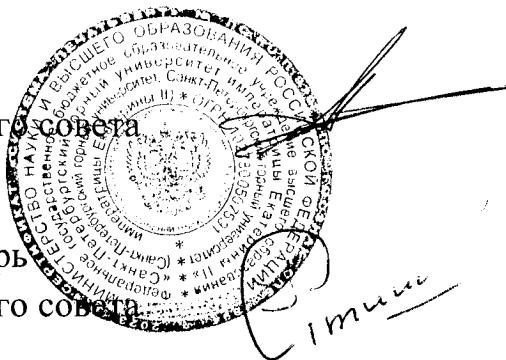
На заседании 29.09.2026 диссертационный совет принял решение присудить **Сусликову Павлу Константиновичу** ученую степень кандидата технических наук за разработку новых научно обоснованных технических и технологических решений по управлению спросом на электроэнергию в автономных электротехнических комплексах на основе идентификации паттернов электропотребления, количественной оценки потенциала управления спросом и классификации электрических нагрузок, имеющих существенное значение для развития страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.09.2026



Назарычев
Александр Николаевич

Устинов
Денис Анатольевич