

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента

Клюева Романа Владимировича

на диссертационную работу Сусликова Павла Константиновича

**«Управление спросом на электроэнергию автономных электротехнических комплексов путём идентификации паттернов и классификации нагрузок»
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы**

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи повышения эффективности автономных электротехнических комплексов промышленного назначения с гибридной генерацией посредством управления спросом на электроэнергию. В качестве основы для адресного выбора управляющих воздействий автор использует идентификацию паттернов электропотребления, интегральную оценку потенциала DSM и функциональную классификацию нагрузок.

Работа изложена на 160 страницах, включает введение, четыре главы с выводами, заключение, список сокращений и условных обозначений, библиографический список из 129 наименований и три приложения; содержит 47 рисунков и 9 таблиц. Структура диссертации логична, последовательность решения задач соответствует заявленной цели.

Актуальность и постановка задачи

Функционирование автономных электротехнических комплексов с дизельной и возобновляемой генерацией сопровождается взаимосвязанными режимными, экономическими и информационными задачами. Ограниченность резерва, переменность ВИЭ и неоднородность технологических нагрузок требуют не только прогнозирования потребления, но и выявления той части его структуры, на которую допустимо воздействовать. Известные классификации часто не дают однозначного перехода от типа электроприёмника к математической модели управления, а интегральные показатели гибкости недостаточно учитывают индивидуальные паттерны.

Работа П.К. Сусликова направлена на устранение указанного разрыва посредством сочетания обработки временных рядов, кластеризации компонент,

расчёта индекса DR PI, классификации нагрузок и компьютерного моделирования оптимального режима. Такой междисциплинарный подход соответствует современному развитию цифровых методов анализа системных свойств электротехнических комплексов. Цель, задачи, объект и предмет исследования согласованы между собой, а актуальность темы обоснована убедительно.

Степень новизны научных результатов

Научная новизна диссертации определяется не отдельным применением известных методов SSA или k-средних, а способом их объединения и использованием результатов для задач DSM. Автором получено амплитудно-частотное представление компонент сингулярного разложения, на основе которого выделяются устойчивые группы паттернов при изменении режимов. Установлена зависимость DR PI от структуры этих паттернов, включая вклад, амплитуду и периодичность. Предложена прикладная пятикомпонентная классификация нагрузок и разработаны математические модели управления каждым классом в составе задачи минимизации OPEX.

Особенно следует отметить переход от анализа агрегированного графика к формализованному описанию допустимых действий над нагрузкой. Для вариативной нагрузки задаётся изменение мощности, для скользящей – перенос во времени, для гибкой – двунаправленный обмен энергией, для мигрирующей – изменение точки подключения, для пассивной – отсутствие управляющего воздействия. Это позволяет связывать результаты классификации с ограничениями задачи компьютерной оптимизации.

Обоснованность, достоверность и воспроизводимость

Методическая схема исследования последовательно включает предварительную сегментацию, SSA, вычисление частотных и амплитудных признаков, кластеризацию компонент и реконструкцию паттернов. Выбор информативных компонент обоснован долей восстановленной информации. Устойчивость кластеризации изучена при изменении длины окна SSA и случайной инициализации, использованы независимые меры согласованности ARI и NMI. Для анализа влияния весов DR PI проведено 5000 испытаний на симплексе весовых коэффициентов; среднее значение коэффициента Кендалла

0,84 свидетельствует о сохранении ранжирования в широкой области параметров.

Компьютерная модель автономного комплекса учитывает топологию сети, ограничения по напряжениям и перетокам, характеристики дизельных установок, профили ВИЭ, баланс энергии и специфические ограничения пяти классов нагрузки. Для решения задачи применён алгоритм CC-PSO, ориентированный на декомпозицию многомерного пространства. Верификация модели выполнена сопоставлением базового режима с исходными данными предприятия по уровням напряжения, загрузке ветвей и структуре генерации. Рассчитанные эффекты внутренне непротиворечивы и объясняются перераспределением нагрузки из дорогих и неблагоприятных интервалов.

Основные результаты опубликованы и прошли обсуждение на профильных конференциях. Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи, разработке метода идентификации паттернов, классификации, математических моделей и оценке предложенного управления. Наличие программной реализации, зарегистрированной как программа для ЭВМ, повышает воспроизводимость вычислительной части исследования.

Научная и практическая значимость

Научная значимость состоит в развитии методов анализа системных связей между временной структурой электропотребления, потенциальной гибкостью и оптимальным управлением автономным комплексом. Индекс DR PI позволяет представить многокритериальную оценку пригодности нагрузки к DSM в численной форме, а классификация – задать унифицированный набор переменных состояния и ограничений для имитационной модели.

Практическая значимость определяется возможностью применения алгоритмов при энергетическом обследовании промышленных объектов, выборе фидеров для программ управления спросом, разработке цифровых двойников и систем оптимального суточного планирования. В расчётном примере снижение OPEX составило 21,5 %, прямых выбросов Score 1 – около 5,1 %, одновременно улучшились режимы дизельных агрегатов и использование установленной мощности ВИЭ. Результаты внедрены в производственную деятельность ООО «ГЦЭ – Энерго».

Анализ структуры и содержания диссертации

Первая глава формирует предметную область и показывает необходимость совместного решения задач оценки потенциала DSM и классификации нагрузок. Во второй главе предложен основной информационно-аналитический инструментарий исследования: выделение паттернов и расчёт DR PI. Третья глава устанавливает классификационные признаки и ограничения для пяти классов. Четвёртая глава объединяет результаты в вычислительной модели, сравнивает базовый сценарий, DSM и применение системы накопления энергии и оценивает инвестиционные показатели.

Выводы по главам соответствуют представленному материалу, заключение отвечает задачам исследования. Автореферат достаточно полно воспроизводит цель, научную новизну, защищаемые положения, методы и количественные результаты диссертации. Язык и стиль соответствуют требованиям к научно-квалификационным работам; встречающиеся редакционные неточности не затрудняют понимание. Содержание работы соответствует пунктам 1 и 3 паспорта специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Замечания и вопросы

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. Исходная выборка для выявления паттернов включает один месяц наблюдений (1440 получасовых точек). Желательно обосновать переносимость выявленных закономерностей на другие сезоны, годы и предприятия, особенно с учётом того, что в таблицах исходных данных фигурирует 2014 год.

2. Не в полной мере раскрыты правила нормирования частотного и амплитудного признаков перед k -средних, выбор числа кластеров и устойчивость результата при альтернативных метриках расстояния. Эти сведения необходимы для независимого воспроизведения процедуры на данных иной размерности.

3. Значения ARI/NMI 0,55-0,70 характеризуют умеренную, но не абсолютную согласованность разбиений. Следовало точнее ограничить область

применимости вывода об устойчивости и показать, как миграция отдельных компонент влияет на итоговый DR PI.

4. При расчёте F2 мощности сортируются по убыванию, вследствие чего исходная временная смежность интервалов не сохраняется. Поэтому интерпретация F2 как концентрации гибкой энергии в непрерывных временных окнах требует дополнительного обоснования. Кроме того, высокий F3 может отражать как управляемость, так и стохастическую изменчивость нагрузки.

5. Предложенные классы определены через допустимые управляющие воздействия, однако в работе отсутствует полностью формализованное решающее правило с границами признаков для отнесения реального оборудования к одному классу. Возможное пересечение свойств вариативной, скользящей и гибкой нагрузок требует процедуры приоритета или многометочной классификации.

6. Алгоритм CC-PSO выбран как вычислительный инструмент, но не приведено прямого сравнения его с базовыми алгоритмами по качеству решения, скорости сходимости, вычислительному времени и чувствительности к гиперпараметрам на рассматриваемой задаче.

Перечисленные замечания не затрагивают существа защищаемых положений и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

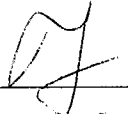
Диссертация представляет собой завершённое самостоятельное исследование, в котором разработаны научно обоснованные методы идентификации паттернов и классификации нагрузок, обеспечивающие решение задачи управления спросом в автономных электротехнических комплексах. Полученные результаты имеют научную новизну, подтверждённую практическую значимость и достаточную степень достоверности.

Диссертация «Управление спросом на электроэнергию автономных электротехнических комплексов путём идентификации паттернов и классификации нагрузок», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические

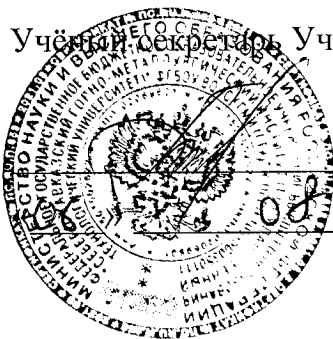
комплексы и системы, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Сусликов Павел Константинович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»


_____/Клюев Роман Владимирович/
«06» _____ 08 _____ 2026 г.

Подпись Клюева Р.В. заверяю:

Учёный секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»

_____/Беликова Светлана Борисовна/
_____ 2026 г.

Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, д. 44

тел.: +7 (8672) 40-73-71; e-mail: kafedra-epp@skgmi-gtu.ru; сайт: <https://skgmi-gtu.ru/>