

УТВЕРЖДАЮ

проректор по науке и инновациям
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»,



доктор технических наук, профессор

М. Р. Филонов

«24» 08 20 26 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» 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.

Актуальность исследования для науки и практики. Повышение эффективности автономных электротехнических комплексов приобретает особую значимость для горнодобывающих, металлургических и иных промышленных предприятий, расположенных в удалённых и труднодоступных районах. Высокая стоимость доставки топлива, ограниченный резерв, износ дизельного оборудования и изменчивость возобновляемых источников энергии формируют сложную систему взаимосвязанных ограничений. При этом нагрузка предприятия традиционно рассматривается преимущественно как внешнее возмущение, хотя часть

технологических процессов допускает регулирование мощности, перенос операций или изменение точки питания без нарушения производственной программы.

Использование этого ресурса требует предварительной идентификации повторяющихся компонент графика, количественной оценки потенциала управления и формализации технологических ограничений. Анализ диссертации показывает, что автор последовательно решает все три задачи и объединяет их с оптимизацией режима гибридной микросети. Тематика соответствует приоритетам цифровизации промышленной энергетики, снижения энергоёмкости и выбросов, повышения надёжности автономного электроснабжения.

В связи с этим тема диссертационной работы Сусликова Павла Константиновича «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, является актуальной.

Содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, библиографического списка и трёх приложений. Объём – 160 страниц, включая 47 рисунков и 9 таблиц; список литературы содержит 129 наименований.

Во введении обоснована актуальность, определены цель, идея, шесть задач, объект и предмет, приведены научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту. Логика работы соответствует движению от анализа проблемы к разработке методов, затем к математической формализации и проверке на модели автономного комплекса.

Первая глава. Выполнен анализ автономных электротехнических комплексов с гибридной генерацией, существующих методов управления

спросом, оценки потенциала гибкости и классификации нагрузки. Показано, что отдельные показатели гибкости не обеспечивают адресного выбора воздействия, а традиционные классификации не учитывают совокупность энергетических, временных и топологических свойств. Обзор формирует обоснованную постановку последующих задач.

Вторая глава. Разработан метод выявления паттернов по схеме «сегментация временного ряда –SSA– кластеризация компонент». Для первых 30 компонент используются частота и среднеквадратичная амплитуда; после кластеризации компоненты суммируются в интерпретируемые паттерны. Сформирован индекс DR PI как взвешенная сумма доли потенциально гибкой энергии F1, её концентрации F2 и динамики F3. Исследована чувствительность результатов к параметрам.

Третья глава. Предложены пять классов нагрузок. Для каждого класса введены переменные и ограничения по мощности, времени включения, скорости изменения, длительности цикла, запасу энергии и допустимому переносу. Достоинство подхода состоит в прямой ориентации классификации на математическую постановку DSM, а не только на описательное группирование оборудования.

Четвёртая глава. Построена модель автономного комплекса с четырьмя ДГУ, солнечной и ветровой генерацией. Сетевой расчёт MATPOWER/MOST объединён с внешней оптимизацией CC-PSO. Целевая функция учитывает OPEX, пуски, работу ДГУ при малой нагрузке и ограничение ВИЭ. Сопоставлены базовый вариант, DSM и система накопления энергии; приведены экономические и экологические показатели. Глава подтверждает работоспособность предложенной методики.

В заключении изложены основные результаты диссертационного исследования, перспективы их применения и направления дальнейших исследований.

Основные научные результаты и их значимость. Основные научные результаты, сформулированные автором, состоят в следующем:

1. Представление компонент SSA временного ряда электропотребления на амплитудно-частотной плоскости, обеспечивающее группировку устойчивых паттернов при изменении режима работы комплекса.
2. Зависимость интегрального индекса потенциала управления спросом DRPI от вклада, амплитуды и периодичности компонент временного ряда.
3. Классификация электрических нагрузок, включающая вариативную, скользящую, гибкую, мигрирующую и пассивную нагрузки и ориентированная на допустимые виды управляющих воздействий.
4. Способ управления указанными классами в соответствии с решением задачи минимизации операционных затрат автономного комплекса с гибридной генерацией.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость состоит в возможности построения тепловых карт предпочтительных интервалов DSM, ранжирования фидеров и электроприёмников, включения моделей нагрузки в систему суточного планирования и оценки альтернативы накопителям.

Обоснованность и достоверность результатов.

Достоверность обеспечена корректным использованием аппарата сингулярного спектрального анализа, методов кластеризации, статистических индексов согласованности, математического и имитационного моделирования электротехнических комплексов, а также методов роя частиц. Автор исследует влияние длины окна SSA, случайной инициализации k-средних и весовых коэффициентов DR PI. Реконструкция 99,5 % информации первыми семью компонентами, значения ARI/NMI 0,55-0,70 для большинства окон и средний коэффициент Кендалла 0,84 дают количественное подтверждение устойчивости ключевых этапов алгоритма в рассмотренной области исходных данных.

Режимные расчёты учитывают сетевые ограничения, характеристики источников и пять видов воздействий на нагрузку. Базовый режим сопоставлен с исходными данными предприятия. Результаты проверены по балансу мощности, допустимости напряжений и перетоков, работе ДГУ, использованию ВИЭ и экономическим показателям. Вывод о повышении эффективности согласуется с полученным снижением OPEX, уменьшением числа неблагоприятных режимов ДГУ и сокращением ограничения возобновляемой генерации. Объём опубликованных и апробированных результатов достаточен.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Полученные результаты целесообразно использовать: при разработке систем энергетического менеджмента и оптимального управления автономными комплексами горнодобывающих и металлургических предприятий; при энергетических обследованиях для ранжирования фидеров и электроприёмников по потенциалу DSM и выбора средств автоматизации; при создании цифровых двойников гибридных микросетей и стендов полунатурного моделирования алгоритмов диспетчерского управления; в проектных организациях при сравнении DSM, накопителей и расширения генерации, а также в образовательном процессе по направлениям электроэнергетики и электротехники при реализации подготовки обучающихся по направлениям 13.03.02, 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника; 13.06.01 Электро- и теплотехника, а также по смежным направлениям.

Публикации. Результаты представлены на 7 научно-практических мероприятиях, включая 5 международных. По теме опубликовано 6 печатных работ: 2 статьи в изданиях из Перечня ВАК, 3 статьи в изданиях, индексируемых Scopus, и 1 работа в материалах конференции. Публикации отражают основные результаты диссертации. Личный вклад автора, заявленный в работе, соответствует представленным результатам. По результатам внедрения результатов исследования получено 1 свидетельство

государственной регистрацией программы для электронных вычислительных машин или базы данных.

Замечания по диссертации.

1. Репрезентативность месячного ряда из 1440 точек требует дополнительного подтверждения на сезонных и многолетних данных нескольких промышленных объектов; следует также пояснить использование массива 2014 года применительно к современным режимам.
2. Порог 20-го перцентиля, отделяющий базовую и потенциально гибкую часть потребления при расчёте $F1$, имеет статистический характер. Для внедрения необходима его калибровка по технологическим ограничениям конкретного оборудования.
3. Расчёт $F2$ после сортировки значений по убыванию не учитывает взаимное расположение интервалов на временной оси. Поэтому вывод о концентрации энергии в технологически удобных непрерывных окнах требует отдельной метрики длительности и связности.
4. Для пяти классов не приведён исчерпывающий алгоритм отнесения реального электроприёмника с перекрывающимися свойствами к единственному классу. Включение накопителя в класс гибкой нагрузки также требует терминологического разграничения потребителя, источника и накопителя.
5. Численные значения параметров классов и долей нагрузок на узлах расчётной сети, в частности доли скользящей нагрузки, должны сопровождаться технологическим обоснованием и анализом чувствительности результата к ошибке классификации.
6. Применение CC-PSO не подкреплено сравнением с альтернативными алгоритмами на одной постановке по значению целевой функции, вероятности достижения лучшего решения, скорости сходимости и вычислительному времени.
7. Оценка выполнена для одного суточного сценария без явного учёта неопределённости прогнозов нагрузки и ВИЭ, сезонности, отказов

оборудования и ограничений запаса топлива. Это сужает область непосредственного переноса количественного эффекта.

8. Для промышленной реализации следует дополнить методику требованиями к измерениям, телемеханике, задержкам связи, кибербезопасности, приоритетам технологических защит и процедуре отмены команд DSM при ухудшении надёжности.

Отмеченные недостатки не снижают качество исследования и не влияют на теоретические и практические результаты диссертации.

Заключение.

Диссертация П.К. Сусликова является завершённой самостоятельной научно-квалификационной работой. В ней решена актуальная задача повышения эффективности автономных электротехнических комплексов с гибридной генерацией посредством идентификации паттернов, оценки потенциала DSM, классификации нагрузок и оптимального управления. Результаты характеризуются научной новизной, достаточной обоснованностью и практической значимостью; публикации и апробация соответствуют содержанию исследования.

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.

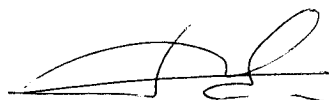
Отзыв составлен на основании заключения по результатам обсуждения диссертации, проведенного на заседании кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСИС «24» августа 2026 г., протокол № 12.

И.о. заведующего кафедрой
«Энергетика и энергоэффективность
горной промышленности» НИТУ МИСИС,
канд. техн. наук



А. Г. Кутепов

Профессор кафедры «Энергетика и
энергоэффективность
горной промышленности» НИТУ МИСИС,
докт. техн. наук, доцент



С.Н. Решетняк

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

119049, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1

тел.: +7 (495) 955-00-32; e-mail: kancela@misis.ru; сайт: <https://misis.ru/>

Антон Григорьевич Кутепов

Сергей Николаевич Решетняк