

УДК 621.31, 620.9

Шифр специальности ВАК 2.4.2.

МНОГОМЕРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ НАГРУЗКИ С УЧЕТОМ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

В статье проводится анализ тенденций развития топливно-энергетического комплекса и выделяются ключевые цифровые технологии, оказывающие влияние на повышение энергетической эффективности технологических процессов. На основе анализа трендов роста спроса на электроэнергию, развития электрифицированного транспорта, цифровизации выделены примеры новых свойств потребителей электрической энергии, способных участвовать в ценозависимом управлении спросом. На основе проведенного анализа стратегий управления спросом, а также применяемых индикаторов эффективности участия потребителей в регулировании нагрузки авторами предлагается разработанная классификация нагрузки. В исследовании определены классы нагрузки, позволяющие описать различные сценарии потребления с учетом появления новых видов потребителей. Предложены целевые уровни, охватывающие технические, экономические и социальные эффекты реализации механизмов управления спросом. Представленная в статье классификация рассматривается как основа для построения цифровой платформы управления спросом, а также предлагается ее концепция, учитывающая агрегацию различных целевых эффектов.

АВТОРЫ:

Ю.Л. Жуковский,
zhukovskiy_Yul@pers.spmi.ru

П.К. Сусликов,
Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II

Ключевые слова:

#управление спросом;
#повышение
энергоэффективности;
#цифровые техноло-
гии; #потребление
электроэнергии;
#график электрических
нагрузок; #электромо-
били; #электротранс-
порт; #возобновляемая
энергетика.



Источник: Freerik

Актуальность вопроса Увеличение энергопотребления и износ

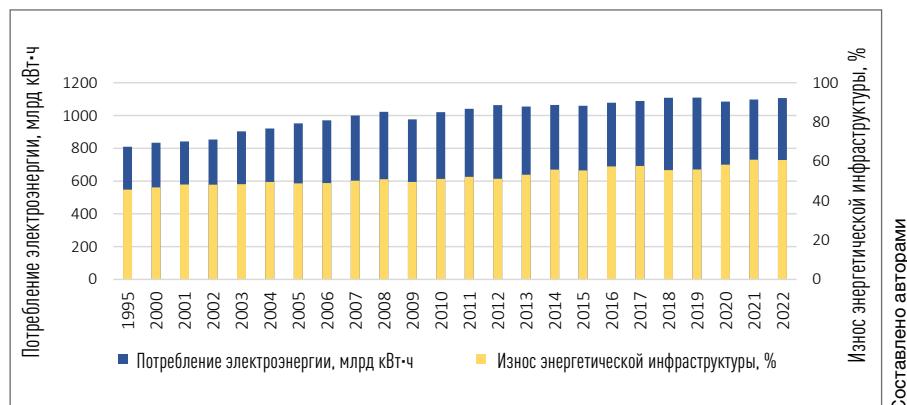
Энергетика и вся связанная с ней инфраструктура всегда являлись основными движущими силами экономического развития и обеспечения роста благосостояния граждан. Значительные запасы нефти, газа и угля и их доступность предопределили собственную модель развития энергетики России, однако проблема старения и перегрузки электрических сетей является одним из сдерживающих факторов при реализации планов по декарбонизации¹, а также достижениям большей части целей устойчивого развития не только в России, но и в мире [1]. Эффективному развитию электросетевого комплекса крупных городов и мегаполисов посвящено значительное количество исследований, особенно в условиях ускоренного старения инфраструктуры и отсутствия необходимых инвестиций. Глобальный вызов урбанизации и миграции людей в города, современные тенденции индустриализации, внедрение цифровых технологий и рост населения крупных городов определяет рост потребления и качественные сдвиги в требованиях к энергообеспечению. Потребление электроэнергии активно растет, но, несмотря на инвестиционные программы в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК), нарастает общий износ энергетической инфраструктуры (рис. 1).

Электромобили как фактор увеличения электропотребления

Одним из факторов увеличения потребления электроэнергии (ЭЭ) в мире является электрифицированный транспорт как средство декарбонизации крупных городов и про-

СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

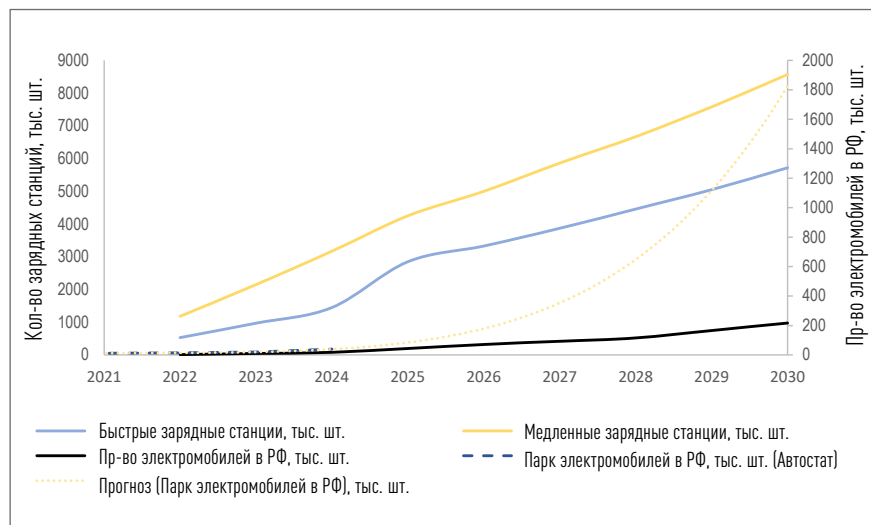
Рис. 1



Составлено авторами

ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА И ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Рис. 2

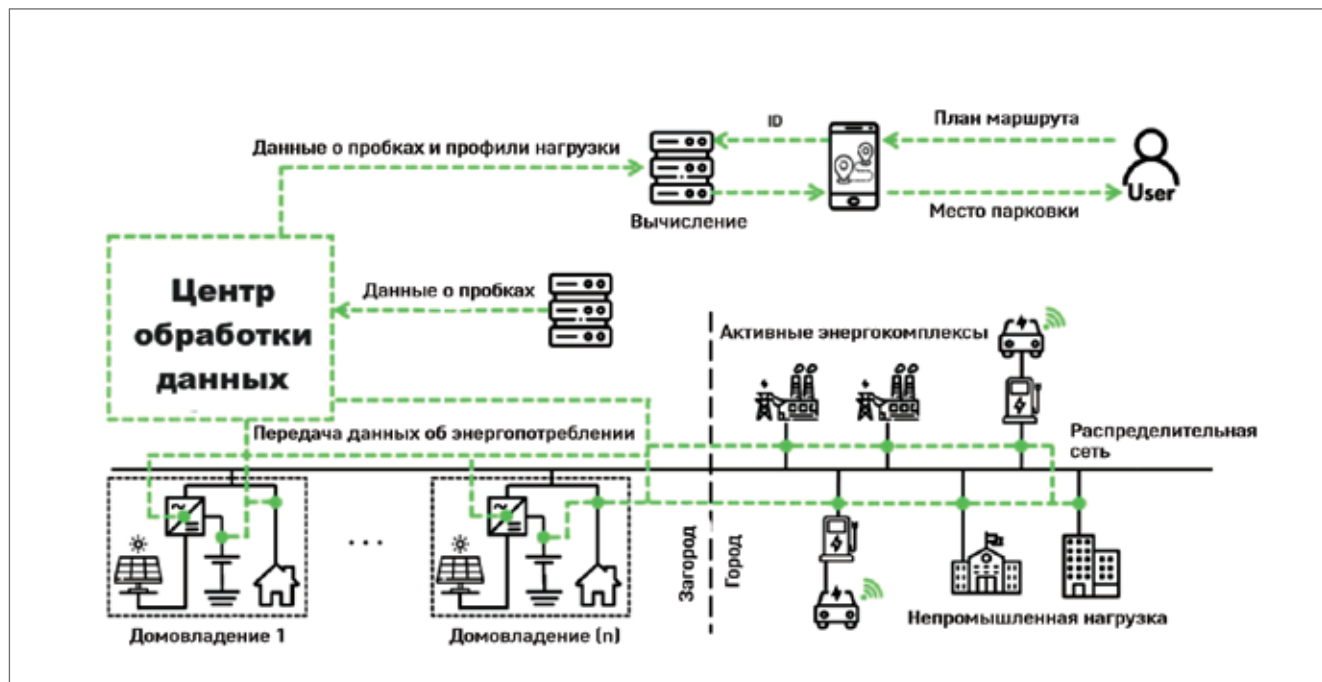


мышленных производств. В России электрификация транспорта сопровождается ростом зарядной инфраструктуры, поддержкой производства электромобилей и стимулированием спроса на них² (рис. 2), что требует повышения эффективности элек-

тросетевого комплекса крупных городских агломераций [2]. Для эффективного управления развитием и эксплуатацией как электромобилей, так и зарядной инфраструктуры используются цифровые платформы [3] (рис. 3).

¹Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р.

²Распоряжение Правительства РФ от 23 августа 2021 г. № 2290-р.



Составлено авторами

Цель создания и реализации цифровых платформ — предоставление пользователям актуальной информации о состоянии аккумуляторной батареи электромобиля, снижение затрат на строительство и эксплуатацию сетевой зарядной инфраструктуры, автоматизированный учет ресурсов для энергоснабжающих организаций и другие сервисы [4].

Одним из ключевых сервисов является управление графиком зарядки, а также его прогнозирование, которые потенциально становятся механизмами управления потреблением в привязке к ценовым сигналам рынка. В свою очередь, благодаря технологии Vehicle-to-grid возможно осуществлять двусторонний переток энергии между сетью и электромобилем, что создает возможность

использовать его как мигрирующий накопитель электроэнергии, реализуя концепт виртуальной электростанции [5].

Таким образом, электромобиль относится к новому классу потребителей, который может участвовать в повышении показателей энергетической, экономической и экологической эффективности всей цепочки преобразования ЭЭ: от процесса генерации до процесса потребления [6] на основе информационной и энергетической интеграции [7].

Развитие изолированных энергосистем

В промышленности возможно добиться повышения энергоэффективности при информационной интегра-

ции электротехнических комплексов и нагрузки, включая технологические процессы, особенно в изолированных энергосистемах. Развитие данных энергосистем представляет собой приоритетную задачу политики Российской Федерации на горизонт до 2035 года³.

На примере Арктической зоны РФ финансирование планов развития предусматривает 1,79 трлн рублей. Уровень освоения ресурсной базы остается низким, несмотря на существующие проекты добычи [8]. Поставлены различные задачи, в том числе добиться значения грузопотока в 80 млн тонн к 2025 году при обеспечении круглогодичной навигации на восточном участке Северного морского пути. Это создает актуальность для развития проектов по добыче

³Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

и переработке полезных ископаемых (в особенности — сжиженного природного газа) и автономных электротехнических комплексов и систем, поскольку концентрация перспективных проектов по добыче, переработке и транспорту ресурсов находится в зонах, удаленных от ЕЭС. При этом существенный рост электрификации и цифровизации, в том числе транспортно-технологических процессов, также обуславливает актуальность классификации нагрузок с учетом возможности ее участия в повышении эффективности функционирования автономных электротехнических комплексов и систем.

Тренды развития распределительных сетей

Тренд на цифровизацию стал особенно актуальным с развитием технологий промышленного интернета вещей и установкой интеллектуальных датчиков мониторинга и контроля [9]. Эффективность стратегий декарбонизации, цифровизации и децентрализации подкрепляется опытом успешного применения технологий энергетического перехода на промышленных предприятиях.

Благодаря активному развитию систем накопления ЭЭ (СНЭЭ), снижению стоимости внедрения и эксплуатации увеличивается количество проектов применения СНЭЭ в промышленности. Известно множество научных трудов отечественных и зарубежных ученых, которые посвящены вопросу СНЭЭ [10–12], однако количество проектов все еще не позволяет говорить о существенной доли таких систем в энергосистеме [13].

Появление интеллектуальных мощностей, умных домов, цифровых производств и высокотехнологичных пространств меняет подход к энергообеспечению промышленности и городской инфраструктуры. С учетом этого необходимо использовать эффекты цифровой трансформации по-

требителей для достижения высокого уровня устойчивости и надежности энергоснабжения, повышения пропускной способности электрических сетей, а также автоматизации контроля над потреблением электроэнергии. Однако для этого необходимо пересмотреть подходы к классификации потребителей как активных участников, влияющих на показатели эффективности энергообеспечения [14].

DSM — перспективный механизм для управления сетями

Управление спросом на электроэнергию (англ. Demand Side Management, DSM) играет ключевую роль в переходе к интеллектуальным сетям и в увеличении доли распределенной энергетики в общей структуре энергобаланса потребителей в мире. Здесь и далее разделим понятия DSM и DR.

Demand Side Management — термин, определяющий комплекс технологий, среди которых: управление нагрузкой (ценозависимое потребление) (англ. Demand response, DR), энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, динамическое потребление и алгоритмы управляющих воздействий, подходы к классификации потребителей ЭЭ. Таким образом, DSM есть комплекс программных и аппаратных средств, а также цифровых технологий и образовательных программ, направленных на повышение эффективности работы электротехнических комплексов в частности и энергосистемы в целом.

На сегодняшний день DR основана на двух основных механизмах: ценовые сигналы и тарифы для стимулирования потребителей к изменению потребления и программы, основанные на стимулах, в рамках которых существуют прямые выплаты потребителям, меняющим спрос по управлению запросу.

В общем виде целью DSM является повышение энергоэффективности на стратегическом уровне планирования на стороне спроса. Преимущества DSM заключаются в повышении энергетической безопасности, сдерживании роста стоимости электроэнергии и снижении воздействия на окружающую среду, а также интеграции распределенных энергоресурсов, в том числе стохастических возобновляемых источников энергии. Зависящий от множества факторов характер потребления энергии и мощности играет определяющую роль в DSM, поскольку именно он формирует возможность «гибкости» конечного потребителя. Основными оптимизационными критериями режимов работы систем электроснабжения являются параметры качества и надежности, а с учетом текущих тенденций также требования к экологичности генерации.

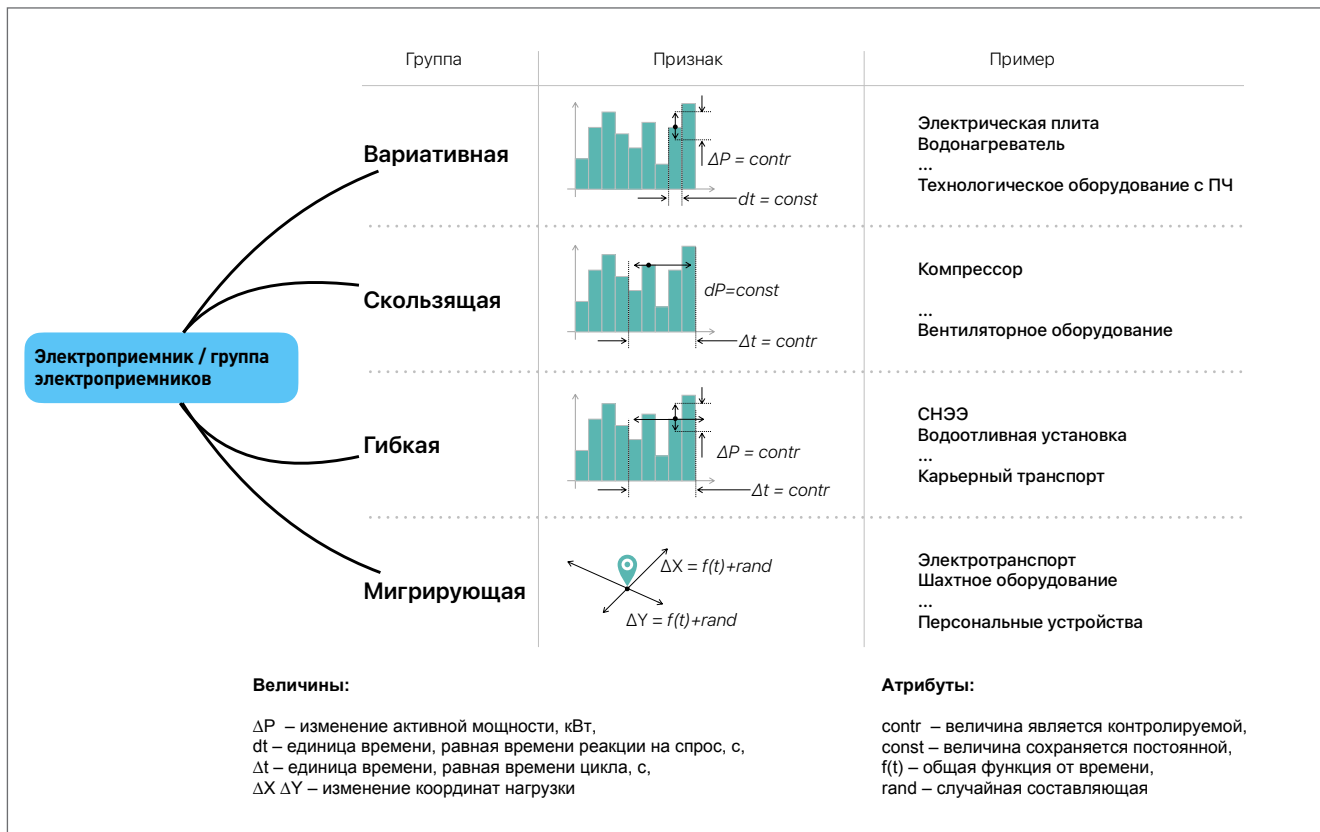
Классификация стратегий управления спросом

Цифровые технологии открывают новые возможности для DSM в части эффективного управления электротехническими комплексами промышленности и жилищно-коммунального хозяйства, однако для этого необходимо рассмотреть классификацию потребителей ЭЭ с дальнейшим ее применением в области DSM по причине использования в разных сферах отличных друг от друга классификаций электроприемников.

Существующие общепринятые классификации электрической нагрузки не отвечают необходимому уровню сегментации электроприемников (ЭП) для целей управления спросом. Например, приведенная в ПУЭ классификация подразумевает разделение ЭП в соответствии со степенью надежности их электроснабжения. Если рассматривать графики энергопотребления нагрузки (отдельного ЭП или их группы), то существует классификация, отражающая

КЛАССИФИКАЦИЯ НАГРУЗОК ДЛЯ УЧАСТИЯ В DSM

Рис. 4



Составлено авторами

характер графика потребляемой мощности и режим работы ЭП, определенная для вращающихся машин в ГОСТ IEC 60034-1-2014.

Однако данная классификация не учитывает возможности перераспределения графика нагрузки. В Федеральном законе № 35-ФЗ существует термин «услуги по управлению изменением режима потребления электрической энергии», в определении которого отсутствует классификация потребителей.

В профильной литературе, например в Техническом отчете МЭК [16] или в определениях, данных на открытых ресурсах «СО ЕЭС», конечным эффектом в системах DSM рассматриваются именно экономические стимулы.

Однако приведенные в рассмотренных источниках формулировки состава DSM не охватывают новых трендов и тенденций, которые были рассмотрены ранее.

Для эффективного DSM необходима классификация потребителей. В качестве признаков для деления на классы в основном используют [17–19]:

- время работы потребителя в зоне суток. Выделение классов на основе возможности переноса нагрузки по времени;
- величина номинальной мощности потребителей. Выделение классов на основе возможности управления величиной мощности;
- общее энергопотребление оборудования. Выделение классов

на основе объема потребляемой энергии за рассматриваемый промежуток времени.

Важно отметить, что в настоящее время не существует утвержденной или стандартизированной системы классификации как промышленного, так и бытового оборудования для реализации DSM [20, 21]. Это приводит к тому, что подходы к оптимизации также строятся каждый раз на основе различных алгоритмов, которые учитывают исключительные особенности рассматриваемого примера, что не позволяет строить высокоуровневые системы управления на основе цифровых платформ, позволяющих агрегировать большое количество разнородных промышленных и бытовых потребителей.

Несмотря на различие в рассматриваемых классификационных группах (различные целевые области), необходимо отметить общие стратегические цели. К таким целям можно отнести максимизацию потребительской ценности за счет обеспечения эффективного производства энергии при минимальных затратах, удовлетворение спроса на электроэнергию без необходимости создания новой инфраструктуры и ограничения воздействия на окружающую среду.

Для определения выбора отдельных или комбинации целевых областей DSM необходимо выделить критерии оценки эффектов, а также параметрическая и классификационная характеристика потребителей на разных уровнях. При формировании программы управления спросом необходимо выделить классы нагрузки, способных на реакцию. Однако в исследованиях и нормативной литературе не выявлено полных требований к классам нагрузки для участия DSM, а также критериев отнесения единичной и групповой нагрузки в отдельные классы реагирующей нагрузки.

Классификация нагрузок для целей управления спросом

Прежде чем перейти к целевой классификации и матрицам DSM, необходимо разделить рассматриваемую нагрузку на несколько групп. Как отмечалось ранее, существующие классификации нагрузки в DSM используют время и периоды (длительности циклов) работы потребителей, номинальные электрические параметры оборудования, а также общие графики потребления.

Авторами предлагается использовать дополнительные параметрические характеристики потребителей. Мощность, которую можно увеличить или снизить на конечном промежутке времени в заранее известном диапазоне, определим как **вариативную** нагрузку. Нагрузка, величина

МАТРИЦА ЦЕЛЕЙ ПРИ КОМБИНАЦИИ ВИДОВ НАГРУЗКИ ДЛЯ УЧАСТИЯ В DSM

Рис. 5

	Вариативная	Скольльзящая	Гибкая	Мигрирующая	Невариативная
Вариативная		Смещение циклов работы компрессоров пневмолинии сборочного цеха	Использование собственной генерации, переход к идеологии активного энергокомплекса	Переориентация части производства на ВИЭ, принятие соответствующих топологических решений в части сетей и нахождения нагрузки	—
Скольльзящая			Прогнозирование пиков потребления технологического оборудования, смещение пикового потребления	Выделение целых фидеров как «скользящих» на РП проходческих линий, изменение суммарного коэффициента спроса РП	—
Гибкая				Интеграция водородных топливных ячеек для релокации источника выбросов. Управление синтезом водорода	—
Мигрирующая					Переключение нагрузки на другие РП с учетом графиков нагрузки РП для нормализации суммарного графика нагрузки и снижения пиков
Невариативная					

Составлено авторами

на которой не может быть снижена, однако время цикла которой может быть изменено как в сторону увеличения времени, так и в сторону уменьшения времени, определяется как **скользящая** нагрузка. Дополнительно определим, что нагрузка, у которой может изменяться режим между потреблением и отдачей в сеть электроэнергии, будет называться **гибкой**. Нагрузку, которая может участвовать в реакции на спрос, однако при этом возможно ее территориальное перемещение, назовем **мигрирующей**. Нагрузка, которая не участвует в управлении спросом, называется **невариативной**. При такой классификации становится воз-

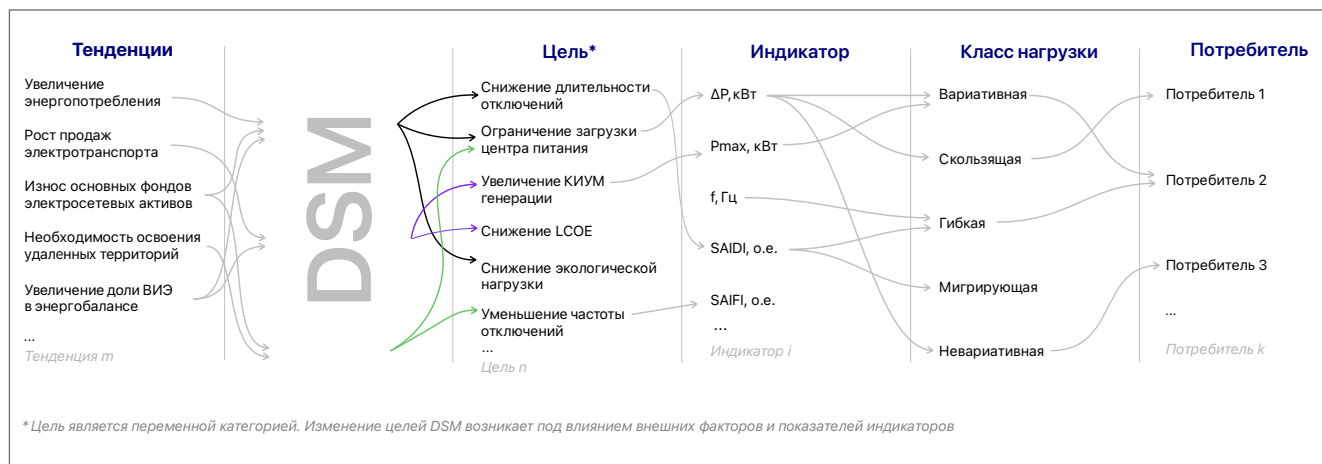
можным описать существующие виды нагрузки для DSM путем комбинации представленных классов, которые покрывают все возможные сценарии (рис. 4).

Классификация целей DSM

При рассмотрении классификации DSM по целевому признаку определим матрицы целей для различных видов нагрузки. Целью составления матриц является формирование основы для алгоритмов DR, в частности представление классификационных групп ЭП с привязкой к цели DSM и приведение примеров нагрузок для ячеек матрицы.

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОТРЕБИТЕЛЕМ И ВИДОМ DSM С УЧЕТОМ ЦЕЛЕЙ

Рис. 6



Матрицы DSM составлены таким образом, что примеры, демонстрирующие те или иные виды задействованной в системе нагрузки, связаны с горной отраслью. По мнению авторов, такой подход к классификации позволит максимально эффективно применить DSM в рамках рассматриваемых вызовов развития Арктики и изолированных энергосистем. Приведем на рисунке 5 матрицу DSM при комбинации видов нагрузки для участия в DSM.

Цифровая интеграция потребителей для реализации стратегий DSM

В качестве средства для реализации целей стратегий DSM при помощи разработанной классификации нагрузки с учетом целей управления спросом на электроэнергию может быть использована единая цифровая платформа потребителей электроэнергии. Цифровая платформа интеграции пользователей с целью управления спросом — это система алгоритмизированных взаимовыгодных взаимоотношений значимого количества независимых участников энергетической отрасли, осуществляемых в единой информационной среде. Потребитель

является ключевым звеном в DSM, а формирование умного потребителя посредством цифровых технологий — ключевой задачей. Цифровые платформы для интеграции — это необходимое звено, обеспечивающее взаимодействие между личными экономическими издержками, связанными с потреблением ЭЭ каждого отдельного потребителя, с производством ЭЭ и высвобождением ЭЭ за счет DSM. Проиллюстрируем на рисунке 6 связи, определяющие взаимодействия между потребителем и целями DSM, которые лежат в основе цифровой платформы.

Путем вовлечения потребителя в процесс управления величиной собственной нагрузки, временем и местом потребления или отдачи энергии в сеть на рынке услуг происходит формирование новых продуктов или сервисов. Гибкость потребителя становится предметом торгов на свободном рынке, наравне с энергией и мощностью. Это является серьезным драйвером изменений в отношениях между потребителями ЭЭ и субъектами генерации. Таким образом, приведем на рисунке 7 концептуальную структуру механизма цифровой интеграции потребителей ЭЭ.

Технология смарт-контрактов позволяет заключать и обеспечивать сопровождение коммерческих контрактов. Умные контракты могут существовать только внутри среды цифровой платформы, имеющей беспрепятственный доступ исполняемого кода к объектам умного контракта. Таким объектом может быть процесс инвестиционного поиска для реализации проекта управления спросом и регистрация итоговых данных в фабрике отраслевых больших данных. Эту задачу поддерживает алгоритм, который отслеживает по указанным условиям достижения или нарушения пунктов и принимает самостоятельные решения, основываясь на запрограммированных условиях. Основной принцип умного контракта состоит в полной автоматизации и достоверности исполнения договорных отношений.

Одной из ключевых задач платформы является формирование новых, интеграция зарождающихся и преобразование существующих рынков. Перспективным является появление рынка данных и предоставление различных данных как услуги в рамках действия платформы. Эксплуатационные данные способны дать основу для применения средств

искусственного интеллекта в задачах прогнозирования рисков нарушения условий эффективности и безопасности функционирования объектов энергетики. Рынок продажи, заказа и формирования наборов данных помог бы, во-первых, увеличить количество исследований, повысить качество моделирования и прогнозирования в интеллектуальных системах. Во-вторых, сформировать спрос на технологии создания, транспортировки, обработки и хранения данных, увеличив тем самым денежные потоки в цифровизацию энергетики и развитие DSM.

С развитием интеллектуальных сетей появятся новые управленческие услуги и приложения, которые в итоге изменят подходы к управлению технологическим процессом, однако для этого необходимы новые подходы к классификации и привязке активных участников к классам, целям и стратегиям.

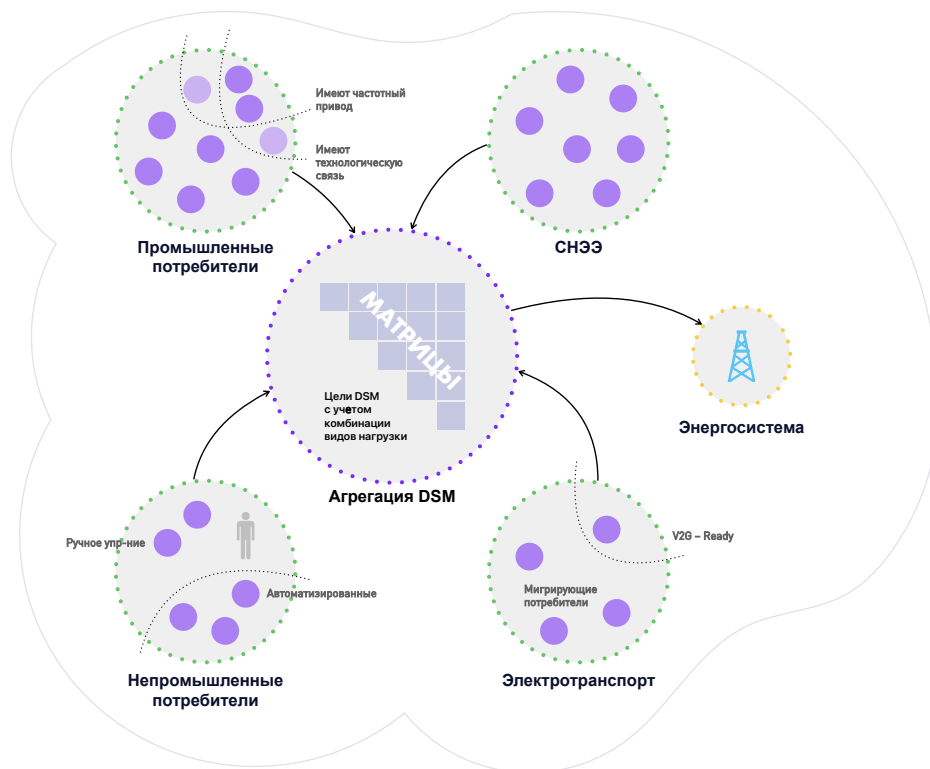
Выводы

Наиболее сложным этапом в цифровой трансформации компаний является перестройка отраслевых процессов, развитие компетенций персонала и создание доверия к новым цифровым технологиям. В случае вовлечения крупного бизнеса в виде промышленных предприятий появляются особые ориентиры и требования к качеству жизни.

При реализации в цифровой среде стратегий на основе разработанной классификации нагрузки в соответствии с приоритетными целями выстраивается взаимодействие в рамках DSM. Для этого в работе предложена классификация ЭП, необходимая для последующего формирования математического аппарата и построения алгоритмов DR. Последующий выбор критериев оптимизации может быть основан на предложенной обобщенной целевой классификации DSM.

КОНЦЕПЦИЯ ЦИФРОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Рис. 7



Именно учет цели в привязке к критериям DSM позволяет сформулировать вид оптимизационной функции, для реализации которой будут использоваться инструменты DSM. Этот процесс также будет учитывать и особенности просьюмеров, СНЭ и прочих элементов электротехнических комплексов, которые появляются в ответ на современные вызовы и будут развиваться дальше.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках госзадания «Фундаментальные междисциплинарные исследования недр Земли и процессов комплексного освоения георесурсов». Шифр FSRRW-2023-0002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tsvetkov P., Cherepovitsyn A., Makhovikov A. Economic assessment of heat and power generation from small-scale liquefied natural gas in Russia // Energy Reports. 2020. Vol. 6. P. 391–402. DOI: 10.1016/j.egy.2019.11.093.
2. Кудрявцев А.А., Бабушкин М.А. Подстанция малой мощности 110/0,4 кВ как элемент электроснабжения зарядной инфраструктуры // Энергия единой сети. 2021. № 56. С. 57–58.
3. Zhukovskiy Y.L., Suslikov P.K., Arapova E.G., Alieva L.Z. Digital platform as a means of process optimization of integrating electric vehicles into electric power networks // J. Phys. Conf. Ser. 2020. Vol. 1661. № 1. P. 012162. DOI: 10.1088/1742-6596/1661/1/012162.

4. Ростовский И.К. Влияние развития электромобилей на потребление энергоресурсов: риски и возможности для экономики России // Проблемы прогнозирования. 2023. № 3. С. 106–119. DOI: 10.47711/0868-6351-198-106-119.
5. Xie H., Ahmad T., Zhang D., Goh H.H., Wu T. Community-based virtual power plants' technology and circular economy models in the energy sector: A Techno-economy study // Renew. Sustain. Energy Rev. Elsevier Ltd., 2024. Vol. 192. P. 114189. DOI: 10.1016/j.rser.2023.114189.
6. Zhukovskiy Y., Koshenkova A., Vorobeva V., Rasputin D., Pozdnyakov R. Assessment of the Impact of Technological Development and Scenario Forecasting of the Sustainable Development of the Fuel and Energy Complex // Energies. 2023. Vol. 16. № 7. DOI: 10.3390/en16073185.
7. Lezak S., Ahearn A., McConnell F., Sternberg T. Frameworks for conflict mediation in international infrastructure development: A comparative overview and critical appraisal // J. Clean. Prod. 2019. Vol. 239. P. 118099. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118099.
8. Zhukovskiy Y., Tsvetkov P., Buldysko A., Malkova Y., Stoianova A., Koshenkova A. Scenario modeling of sustainable development of energy supply in the arctic // Resources. 2021. Vol. 10. № 12. P. 1–25. DOI: 10.3390/resources10120124.
9. Nikolaev A.V., Vöth S., Kychkin A.V. Application of the cybernetic approach to price-dependent demand response for underground mining enterprise electricity consumption // Journal of Mining Institute. 2023. Vol. 261. P. 403–414. DOI: 10.31897/PMI.2022.33.
10. Balabin A.A. Operation Analysis and Recommendations for Improving the Electric Energy Storage System Installed in the Rural 0.4 Kv Power Grid // Agric. Eng. 2022. № 1. P. 72–79. DOI: 10.26897/2687-1149-2022-1-4-72-79.
11. Eroshenko S.A., Nesterenko G.B., Zyryanov V.M., Kiryanova N.G., Prankevich G.A. Identification of parameters for the hybrid electrical energy storage system in autonomous power system // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 836. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/836/1/012008.
12. Melnikov V., Nesterenko G., Potapenko A., Lebedev D. Calculation of the levelised cost of electrical energy storage for short-duration application. LCOS sensitivity analysis // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2019. Vol. 19. № 21. DOI: 10.4108/eai.13-7-2018.155643.
13. Мельников В.Д., Нестеренко Г.Б., Лебедев Д.Е., Мокроусова Ю.В., Удовиченко А.В. Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости электрической энергии // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 4 (44). С. 30–36.
14. Serzhan S.L., Malevanniy D.V., Fedorov E.V., Dadayan L.M. Prospects of Application of a Production Complex With a Capsule in the Conditions of Mining on the Russian Federation Shelf Iron-Manganese Nodules // Min. Equip. Electromechanics. 2022. № 4. P. 3–11. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-4-3-11.
15. Sychev Y., Zimin R. Improving the quality of electricity in the power supply systems of the mineral resource complex with hybrid filter-compensating devices // Journal of Mining Institute. 2021. Vol. 247. P. 132–140. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.14.
16. Marcel D., Fahrni J., Perret L. Network driven demand side management. Final Report of activity 1.2 from Subtask 1 // Int. ENERGY AGENCY. 52 p. ISBN 978-3-906042-44-2.
17. Ibrahim O., Bakare M.S., Aмоса T.I., Otuozе A.O., Owonikoko W.O., Ali E. M., Adesina L.M., Ogunbiyi O. Development of fuzzy logic-based demand-side energy management system for hybrid energy sources // Energy Conversion and Management X. 2023. Vol. 18 (2). P. 100354. DOI: 10.1016/j.ecmx.2023.100354.
18. Kim J.-G., Lee B. Appliance Classification by Power Signal Analysis Based on Multi-Feature Combination Multi-Layer LSTM // Energies. 2019. Vol. 12. № 14. P. 2804. DOI: 10.3390/en12142804.
19. Puente C., Palacios R., González-Arechavala Y., Sánchez-Úbeda E.F. Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) for Energy Disaggregation Using Soft Computing Techniques // Energies. 2020. Vol. 13. № 12. P. 3117. DOI: 10.3390/en13123117.
20. Beaudin M., Zareipour H. Home energy management systems: A review of modelling and complexity // Renew. Sustain. Energy Rev. 2015. Vol. 45. P. 318–335. DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.046.
21. Leitao J., Gil P., Ribeiro B., Cardoso A. A Survey on Home Energy Management // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 5699–5722. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2963502.

Рисунки к статье предоставлены авторами.

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



УМНЫЙ ЖУРНАЛ
ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ



ЦЕЛЕВАЯ АУДИТОРИЯ

СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР **ЛИЧНО В РУКИ**
ИНЖЕНЕРЫ
СЕТЕВЫЕ КОМПАНИИ МРСК МЕНЕДЖЕРЫ
РОССЕТИ НИИ ЦЕЛЕВАЯ РАССЫЛКА
РАН **МИНЭНЕРГО**
СПЕЦИАЛИСТЫ ГЛАВНЫЕ ИНЖЕНЕРЫ
ПРОИЗВОДИТЕЛИ ЭНЕРГОХОЛДИНГИ МЭС
ОБОРУДОВАНИЯ РУКОВОДИТЕЛИ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ **ПРОЕКТИРОВЩИКИ**
ПОСТАВЩИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПМЭС МОЛОДЫЕ СПЕЦИАЛИСТЫ

реклама