

И.Н. ПАСКАРЬ, старший преподаватель (КузГТУ)
г. Кемерово

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПОТЕНЦИАЛ ВНЕДРЕНИЯ АКТИВНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В НАСЕЛЕНИИ ПУНКТАХ

В мировой энергетике сложились устойчивые технологические тренды на массовое распространение малой распределенной генерации на базе ВИЭ (прежде всего на солнечной энергии). Снижение стоимости фотоэлектрических модулей на 80-90% за последнее десятилетие привело к взрывному росту установки частных СЭС мощностью 3-15 кВт на крышах домов, фермерских хозяйствах, муниципальных зданиях в поселках. Такие системы имеют большой потенциал в связи с наличием неиспользованного ресурса для местной генерации, который поможет снизить зависимость от центральной сети и добиться снижения или стагнации тарифов. Но стоит отметить стихийность установок собственной генерации, отсутствие системной интеграции в энергосистему населенных пунктов, что ведет к экономическим потерям, проблемы с учетом двунаправленных потоков, которые не до конца определены нормативно [1].

Также появление доступных бытовых и коммерческих систем накопления энергии (СНЭ) благодаря снижению стоимости литий-ионных аккумуляторов, появлению на рынке готовых решений, к примеру Tesla Powerwall, LG RESU, а также отечественных аналогов, мощностью 5-20 кВтч, развитию систем V2G (Vehicle-to-Grid) для электромобилей позволяет сглаживать нестабильности ВИЭ, обеспечивать резервное питание и позволяет потребителям электроэнергии принимать участие в управлении нагрузкой сети. Это влечет за собой необходимость интеллектуального управления зарядом/разрядом для максимизации выгоды и срока службы накопителей энергии [2, 3].

Развитие технологий Интернета Вещей (IoT) и цифровизации влечет широкое внедрение интеллектуальных систем учета электроэнергии (АИИСКУЭ), удешевление датчиков, контроллеров, развитие сетей связи (LPWAN: LoRaWAN, NB-IoT; сотовые сети 4G/5G даже в сельской местности).

Это позволит создать, апробировать и внедрить «цифровые двойники» в энергосистемы поселков и производить мониторинг состояния в реальном времени, удаленное управлять устройствами в данной системе и осуществлять предиктивную аналитику [4-6]. Необходимо выделить негативные моменты, которые тормозят внедрение инноваций в системы элек-

троснабжения населенных пунктов. И в первую очередь это пассивность традиционного потребителя (неиспользованный потенциал гибкости спроса). Основная масса потребителей в поселках не готовы к внедрению систем по управлению нагрузкой, так как это может повлечь изменение в жизненном укладе (их нагрузка неуправляема и часто создает утренние/вечерние пики. Отсутствие также технических средств у большинства потребителей (умные розетки, контроллеры) и экономических стимулов для вовлечения потребителей в активное управление своим спросом (Demand Response – DR) влияет на возможность быстрого развертывания цифровых систем. Как правило, потенциал гибкости в 15-30% от пиковой нагрузки потребителей остается нереализованным на сегодняшний день.

Значительная часть бытовой и коммерческой нагрузки обладает скрытой гибкостью:

- сдвигаемые нагрузки (стирка, посудомоечные машины, зарядка электромобилей, нагревание воды в бойлерах и так далее). Их работу можно перенести на время избытка генерации (днем для СЭС) или низких тарифов/сетевой нагрузки (ночь);

- регулируемые (модулируемые) нагрузки (кондиционеры, теплые полы, электрокотлы). Их мощность можно временно снижать без полного отключения;

- прерываемые нагрузки (некоторые виды водонагревателей, освещение нежилых помещений). Могут быть отключены на короткое время без негативных последствий [7, 8].

Признаки, которыми характеризуется понятие «активный потребитель» населенного пункта (просьюмер). Во-первых, это потребитель электроэнергии (домохозяйство, ферма, магазин, школа и так далее), который генерирует электроэнергию (как правило, на ВИЭ – солнечные панели, малые ветряки или микро-ГЭС), во-вторых накапливает энергию (с помощью стационарных СНЭ), в-третьих, обладает управляемыми нагрузками, активно взаимодействует с энергосистемой (локальной микроэнергосистемой поселка, распределительной сетью, агрегаторами) через цифровые платформы (IoE) и, в-четвертых, участвует в рыночных взаимодействиях (продажа излишков энергии, регулирование частоты/напряжения, снижение пикового спроса (DR).

Просьюмеры могут становиться основными поставщиками не только энергии, но и критически важных системных услуг (обеспечение гибкости и резерва) для локальной электрической сети населенного пункта благодаря созданию локальных зон энергетической устойчивости (микроэнергосистем), снижая зависимость от централизованных сетей. Функционирование активных потребителей внутри таких микроэнергосистем может позволить снизить общие затраты на энергоснабжение поселка для всех участников (включая пассивных потребителей) за счет оптимизации потоков энергии,

снижения пиков (отсрочка инвестиций в сети), монетизации гибкости. Благодаря управляемым нагрузкам и накопителям, просьюмеры позволяют эффективно интегрировать нестабильную генерацию от ВИЭ в локальную сеть, напрямую обмениваться энергией с соседями внутри поселка под управлением платформы виртуальной электростанции и внедрению р2р-экономики [9-12].

Итак, основываясь на источниках, дадим определение понятию активный потребитель (просьюмер).

Активный потребитель – это качественно новый субъект энергосистемы населенного пункта, трансформирующийся из пассивного получателя электроэнергии в активного участника процессов генерации, распределения и управления потреблением.

Его ключевые характеристики:

- наличие энергетических ресурсов;
- собственная генерация (преимущественно на базе ВИЭ);
- накопление энергии (стационарные бытовые/коммерческие системы накопления энергии);
- V2G;
- управляемая (гибкая) нагрузка (электроприборы или технологические процессы, работой которых можно управлять без значительного ущерба для потребителя – временное отключение, сдвиг по времени использования, модуляция мощности).

Способность к осознанному взаимодействию:

- техническая (наличие интеллектуальных устройств – умные счетчики, программируемые контроллеры), экономическая (дифференцированные тарифы, платежи за услуги, доход от продажи излишков) для оптимизации своего энергопотребления и участия в рыночных механизмах, к примеру P2P-рынок;
- информационная (готовность предоставлять данные о своих ресурсах и их состоянии для нужд управления микроэнергосистемой).

Таким образом, потребитель перестает быть конечной точкой энергопотока, а становится многофункциональным узлом микроэнергосистемы, который способен как потреблять, так и поставлять энергию, а также предоставлять услуги по обеспечению стабильности и эффективности работы локальной энергосистемы.

В таблице 1 приведена классификация активных потребителей по типу предоставляемого ресурса, а в таблице 2 по типу объектов.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

414-4

20-21 ноября 2025 г.

Таблица 1

Классификация по типу основного ресурса

Тип активного потребителя	Характеристика ресурса	Примеры оборудования	Форма взаимодействия с микроэнергосистемой
Потребитель с генерацией (ВИЭ)	Производит электроэнергию, преимущественно для собственных нужд, с возможностью продажи излишков	СЭС (3-15 кВт), ВЭС (1-10 кВт), микро-ГЭС	Продажа излишков в сеть, участие в балансировке
Потребитель со СНЭ	Обладает емкостью для хранения электроэнергии. Может заряжаться в периоды избытка/низкой цены и отдавать в периоды дефицита/высокой цены	Стационарные Li-ion СНЭ (5-15 кВтч), электромобили с V2G	Услуги по сглаживанию пиков, резервирование, арбитраж энергии, поддержка частоты/напряжения
Потребитель с управляемой нагрузкой (DR)	Обладает электроприемниками, работу которых можно гибко регулировать по времени или мощности без критического ущерба	Электрокотлы, бойлеры, кондиционеры, стиральные/посудомоечные машины, зарядки, освещение нежилых помещений	Участие в программах управления спросом (DR) за вознаграждение
Комбинированный (просьюмер)	Обладает двумя или более типами одновременно	Есть СЭС + СНЭ + Система «умный дом»	Комплексное участие: генерация, накопление, управление нагрузкой, максимизация выгоды и вклада в стабильность системы

Таблица 2

Классификация по типу объекта

Тип	Особенности	Примеры ре- сурсов	Значимость для микро- энергосистемы
Домохозяйство	Основная масса активных потребителей. Ресурсы ограничены, но многочисленны. Мотивация - экономия/доход	СЭС 3-15 кВт, СНЭ 5-15 кВт*ч, водонагреватель, кондиционер, зарядка, стиральная машина и др.	Обеспечивает распределенную гибкость и резервирование. Может позволить снизить «бытовые пики»
Фермерское хозяйство / Малый бизнес (магазин, кафе, мастерская и др.)	Более крупные и стабильные ресурсы. Мотивация - снижение издержек, обеспечение бесперебойности процессов	СЭС/ВЭС 1-15 кВт, СНЭ 5-20 кВтч, ходильные установки, насосы, вентиляция, технологическое оборудование	Значимый источник генерации и потребления электроэнергии, крупные управляемые нагрузки, важный резерв
Общественное здание (школа, ДК, администрация и др.)	Критически важные объекты. Ресурсы могут использоваться как для самообеспечения, так и для поддержки поселка. Финансируются из бюджетов/грантов федеральных, региональных или муниципальных властей	СЭС на крыше/участке (1-15 кВт), СНЭ (5-20 кВтч), системы отопления/вентиляции, освещение	Повышение энергетической устойчивости критической инфраструктуры

Преимущества интеграции активных потребителей и их вовлечение может трансформировать микроэнергосистему населенного пункта, обеспечивая комплексный синергетический эффект:

1. Повышение гибкости благодаря ресурсам СНЭ и управляемому спросу, которые позволяют динамически адаптировать профиль потребления/генерации к изменяющимся условиям (к примеру, колебания ВИЭ, изменения спроса, аварийные ситуации). В результате возможно

упрощение управления балансировкой «спрос-предложение» внутри микроЗнергосистемы, снижение зависимости от внешней сети.

2. Снижение пиковых нагрузок благодаря управлению нагрузкой просыюмеров и разряд их СНЭ в часы максимального спроса всего поселка. Это может привести к снижению максимальной мощности, потребляемой из центральной энергосистемы, что позволит отсрочить дорогостоящие инвестиции в модернизацию трансформаторных подстанций и линий электропередачи, подходящих к населенному пункту.

3. Улучшение баланса мощности и энергии благодаря генерации просыюмеров, которая покрывает часть локального спроса, СНЭ аккумулируют излишки ВИЭ и отдают, когда нужно, а DR сглаживает резкие скачки потребления. Это позволит более равномерно и предсказуемо управлять нагрузкой на распределительную сеть поселка, снизить риск перегрузок и аварий, повысить качество электроэнергии (стабильность напряжения, частоты).

4. Эффективная интеграция распределенных ВИЭ для локального потребления или накопления излишков генерации от ВИЭ непосредственно в месте производства. В результате возможно снижение потерь в сетях, минимизация проблем с «утиной кривой» (резкий вечерний пик после захода солнца).

5. Повышение надежности и резервирования благодаря интеграции СНЭ просыюмеров образуют распределенный резерв мощности и энергии. При аварии во внешней сети или на местной генерации, можно задействовать эти ресурсы для поддержки критически важных объектов (больница, котельная, связь) в «островном» режиме. Благодаря этому возможно повысить показатели SAIDI (средняя длительность перерыва) и SAIFI (частота перерывов) электроснабжения для потребителей микроЗнергосистемы.

Таким образом, активный потребитель представляет собой качественно нового участника энергосистемы, трансформируя её из централизованной и иерархической в распределенную и гибкую. Его интеграция в микроЗнергосистемы населенных пунктов позволяет достичь значительного синергетического эффекта, включая повышение гибкости, снижение пиковых нагрузок и улучшение надежности энергоснабжения. Ключевыми условиями для массового распространения этой модели являются развитие доступных технологий (ВИЭ, СНЭ, IoT) и создание адаптивного нормативно-правового поля и экономических стимулов. В перспективе массовое появление просыюмеров способно кардинально повысить энергоустойчивость отдельных поселков и сформировать более сбалансированную и экономически эффективную энергосистему в целом.

Список литературы:

1. Renewable Power Generation Costs in 2024. – International Renewable Energy Agency (IRENA), 2025. – URL: <https://www.irena.org/Publications/2025/Jun/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2024> (дата обращения: 11.10.2025).
2. Pylontech и BloombergNEF опубликовали доклад о глобальном рынке бытовых накопителей энергии // Рамблер/финансы. – URL: <https://finance.rambler.ru/business/51861528-pylontech-i-bloombergnef-opublikovali-doklad-o-globalnom-rynke-bytovyh-nakopiteley-energii/> (дата обращения: 11.10.2025).
3. Обзор мирового рынка накопителей электрической энергии [Электронный ресурс] // Энергрынок. – 2023. – URL: <https://www.eprussia.ru/upload/iblock/1b8/1b83729ddd27beaeb629e380293a4585.pdf> (дата обращения: 11.10.2025).
4. IEEE Standard for Smart Energy Profile Application Protocol [Электронный ресурс]. – IEEE Std 2030.5. – URL: <https://standards.ieee.org/ieee/2030.5/11216/> (дата обращения: 11.10.2025).
5. IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation. – International Electrotechnical Commission. – URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/6028> (дата обращения: 11.10.2025).
6. ГОСТ Р 58698-2019 (МЭК 61850-7-420:2009) Сети и системы связи на объектах электроэнергетики. Часть 7-420. Основные принципы коммуникационных структур для распределенной энергетики. – URL: <https://gostassistant.ru/doc/6b98b1f9-eec6-4375-b80c-322fd2028151> (дата обращения: 11.10.2025).
7. Siano, P. Demand response and smart grids—A survey / P. Siano // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 38. – P. 461–478.
8. Demand-side flexibility for power sector transformation [Электронный ресурс]. – International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019. – URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Dec/Demand-side-flexibility-for-power-sector-transformation> (дата обращения: 11.10.2025).
9. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (ред. от 24.04.2024). – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41571/ (дата обращения: 11.10.2025).
10. Pudjianto, D. Microgrids and virtual power plants: Concepts to support the integration of distributed energy resources / D. Pudjianto, C. Ramsay, G. Strbac // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. – 2007. – Vol. 222(7). – P. 731–741.
11. Huang, A. Q. The Internet of Energy: A new energy paradigm / A. Q. Huang, M. L. Crow, G. T. Heydt et al. // Proceedings of the IEEE. – 2014. – Vol. 102(7). – P. 1017–1020.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

414-8

20-21 ноября 2025 г.

12. Устюжанина, А. С. Активные потребители в электроэнергетике: понятие и перспективы интеграции / А. С. Устюжанина // Энергосбережение и водоподготовка. – 2022. – № 3 (131). – С. 39–45.

Информация об авторах:

Паскарь Иван Николаевич, старший преподаватель, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, paskar-ivan@mail.ru