

УДК 621.311

**АРХИТЕКТУРА МИКРОЭНЕРГОСИСТЕМЫ НАСЕЛЕННОГО
ПУНКТА С АКТИВНЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ**

Паскарь И.Н.¹, старший преподаватель
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Надежность электроснабжения населенных пунктов определяется не только состоянием сетевой инфраструктуры, но и возможностью локально управлять генерацией, накоплением энергии и режимом потребления. Для сельских и удаленных территорий особенно характерны протяженные линии 10(6) кВ, радиальная структура сети, ограниченный резерв и высокая чувствительность к погодным и эксплуатационным воздействиям. В таких условиях даже локальное повреждение линии или перегрузка отдельного элемента сети быстро отражаются на качестве электроснабжения потребителей и на затратах на эксплуатацию [1, 2].

Практика эксплуатации распределительных сетей показывает, что для части населенных пунктов характерно сочетание нескольких неблагоприятных факторов: удаленность от центров питания, износ оборудования 10/0,4 кВ, ограниченная пропускная способность сети и рост требований к надежности электроснабжения. Для поселков, питаемых по одноцепной воздушной линии с несколькими ответвлениями, это выражается в повышенной уязвимости к аварийным отключениям, ухудшении параметров напряжения и усложнении ремонтно-восстановительных работ. Поэтому интерес представляет переход от пассивной модели электроснабжения к модели, в которой часть потребителей становится активным участником регулирования локального энергетического режима [1-4].

Цель работы состоит в обосновании архитектуры микроэнергосистемы населенного пункта с активными потребителями, объединенными в единый контур управления. В отличие от общего обзора концепций Internet of Energy и виртуальных электростанций, в работе акцент сделан на прикладной конфигурации для поселковых сетей 10(6)/0,4 кВ. Предлагаемая архитектура ориентирована на координацию распределенной генерации, накопителей, управляемой нагрузки и обмена с внешней энергосистемой [7-10].

Под активным потребителем в данной работе понимается не просто абонент, оснащенный малой генерацией, а узел микроэнергосистемы, который одновременно способен потреблять, генерировать, накапливать и, в определенных пределах, регулировать режим собственного энергопотребления. Такой участник должен быть включен в цифровую инфраструктуру учета и управления, чтобы его ресурсы могли использоваться не изолированно, а в составе общего режима населенного пункта. Иначе наличие у потребителя

солнечной установки или накопителя само по себе еще не формирует микроэнергосистему [4-6, 9-11].

Для удаленного поселка типовой является ситуация, когда питание осуществляется по одной ВЛ-10 кВ большой протяженности, а в составе нагрузки присутствуют жилой сектор и несколько социально значимых объектов. В этом случае локальная генерация и накопители у части потребителей могут использоваться не только для покрытия собственной нагрузки, но и для ограничения вечерних максимумов, сглаживания колебаний и резервирования наиболее ответственных потребителей при нарушении внешнего питания. Другой типовой сценарий связан с компактным населенным пунктом, где наряду с бытовой нагрузкой имеются школа, ФАП, котельная или объект водоснабжения. Здесь координируемая работа накопителей, управляемой нагрузки и локальной генерации позволяет повысить устойчивость электроснабжения критической инфраструктуры даже без масштабной реконструкции всей сети.

С учетом этих условий архитектуру микроэнергосистемы целесообразно строить как трехуровневую киберфизическую систему, включающую физический, цифровой и управляющий уровни. На рис. 1 представлена обобщенная структура такой микроэнергосистемы.

Физический уровень образуют источник питания от централизованной энергосистемы, распределенная генерация активных потребителей, индивидуальные и общие накопители энергии, нерегулируемая и управляемая нагрузка, а также распределительная сеть 10(6)/0,4 кВ с устройствами коммутации и автоматики. В отличие от традиционной схемы электроснабжения, здесь существенна не только передача энергии от внешнего центра питания к нагрузке, но и возможность локального перераспределения мощности между участниками микроэнергосистемы [7, 9, 10].

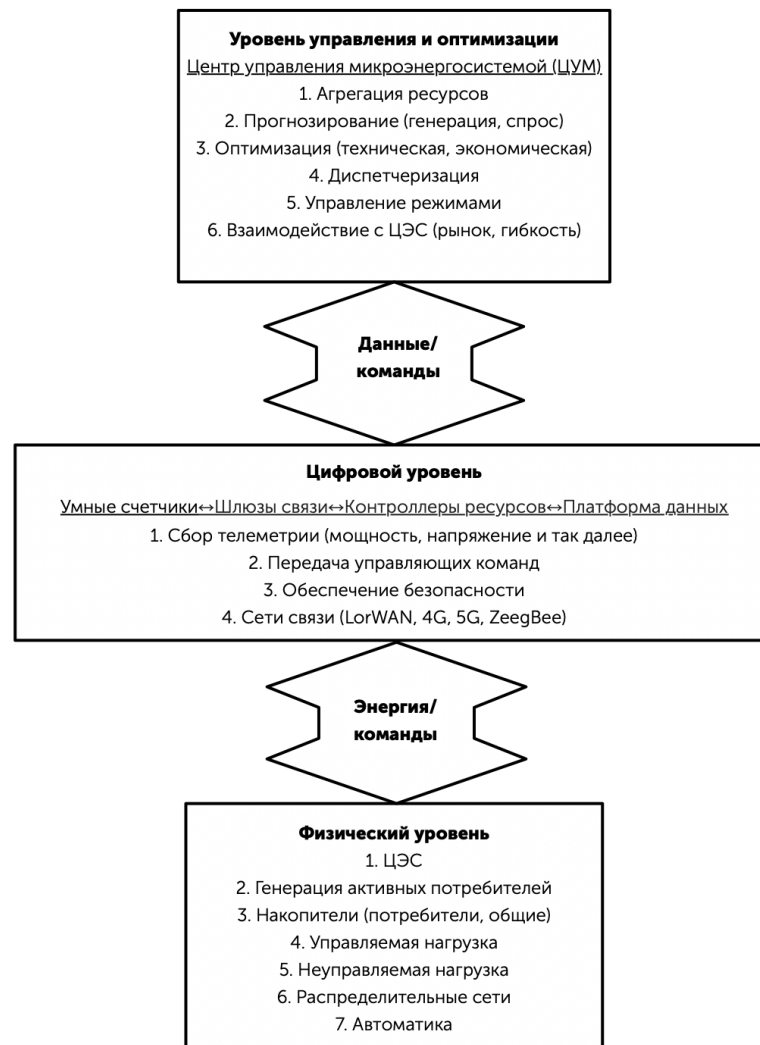


Рис. 1. Общая архитектура микроэнергосистемы населенного пункта с активными потребителями

Цифровой уровень выполняет функции наблюдаемости, обмена данными и передачи управляющих воздействий. В его состав входят интеллектуальные приборы учета, контроллеры локальных ресурсов, коммуникационные шлюзы, платформа данных и каналы связи. Умные счетчики обеспечивают двунаправленный учет электроэнергии и контроль параметров сети, а контроллеры ресурсов реализуют локальные алгоритмы управления генерацией, зарядом и разрядом накопителей, а также управляемой нагрузкой. Тем самым цифровой уровень формирует информационную основу для согласованной работы разнородных ресурсов [5, 6, 8, 10].

Ключевым элементом предложенной архитектуры является центр управления микроэнергосистемой. Его функция заключается не просто в диспетчеризации, а в согласовании технических и экономических режимов работы локальных энергетических ресурсов. На этом уровне решаются задачи агрегирования распределенных ресурсов активных потребителей, прогнозирования генерации и спроса, выбора режима работы накопителей, формирования управляющих команд и определения допустимого обмена с внешней

энергосистемой. По сути, центр управления переводит разрозненный набор локальных устройств в режим координируемой системы [7, 8, 10].

С инженерной точки зрения целесообразно выделить четыре базовые функции центра управления. Первая функция состоит в агрегировании ресурсов, когда генерация, накопители и регулируемая нагрузка отдельных участников объединяются в единый управляемый ресурс. Вторая функция связана с оперативным управлением режимом на основе текущей телеметрии и прогнозной информации. Третья функция относится к координации внешнего взаимодействия, при котором микроэнергосистема получает электроэнергию из централизованной сети либо ограничивает внешнее потребление, а при наличии нормативных и рыночных механизмов - участвует в поставке избыточной энергии или услуг гибкости. Четвертая функция связана с обеспечением устойчивости, когда при аварийных и предаварийных ситуациях обеспечивается приоритетное электроснабжение критической нагрузки и выбор допустимого режима изолированной или полуизолированной работы [3, 4, 7, 11].

Предлагаемая архитектура имеет прикладное значение именно для населенных пунктов с ограниченной сетевой надежностью. Ее смысл заключается не в полном замещении централизованного электроснабжения, а в снижении зависимости поселка от единственного внешнего канала питания и в повышении управляемости локального энергетического баланса. За счет этого возможно уменьшение нагрузки на сеть в часы максимума, более эффективное использование распределенной генерации и повышение надежности электроснабжения социально значимых объектов [1, 2, 11].

Таким образом, микроэнергосистема населенного пункта с активными потребителями должна рассматриваться как управляемая киберфизическая система, в которой физическая инфраструктура, цифровая среда и центр управления образуют единый контур. Научно-практический результат работы состоит в структурировании такой архитектуры применительно к поселковым сетям 10(6)/0,4 кВ и в выделении функций центра управления, необходимых для координации распределенных ресурсов. Дальнейшее развитие работы целесообразно связать с формализацией алгоритмов управления режимами и с оценкой технического и экономического эффекта для типовых конфигураций населенных пунктов.

Список литературы:

1. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 № 511-р «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации».
2. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».
3. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике».

4. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “Об электроэнергетике” в части развития микрогенерации».
5. Федеральный закон от 27.12.2018 № 522-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации».
6. Постановление Правительства РФ от 19.06.2020 № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)».
7. Pudjianto D., Ramsay C., Strbac G. Virtual Power Plant and System Integration of Distributed Energy Resources // IET Renewable Power Generation. 2007. Vol. 1, no. 1. P. 10-16. DOI: 10.1049/iet-rpg:20060023.
8. Yu X., Xue Y. Smart Grids: A Cyber-Physical Systems Perspective // Proceedings of the IEEE. 2016. Vol. 104, no. 5. P. 1058-1070. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2503119.
9. Huang A.Q., Crow M.L., Heydt G.T., Zheng J.P., Dale S.J. The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet // Proceedings of the IEEE. 2011. Vol. 99, no. 1. P. 133-148. DOI: 10.1109/JPROC.2010.2081330.
10. Farhan M., Reza T.N., Badal F.R., Islam M.R., Muyeen S.M. et al. Towards next generation Internet of Energy system: Framework and trends // Energy and AI. 2023. Vol. 14. Art. 100306. DOI: 10.1016/j.egyai.2023.100306.
11. Устюжанина А.С., Паскарь И.Н. P2P-рынок как способ взаимодействия объектов микрогенерации // Экономика и управление инновациями. 2024. № 4(31). С. 84-95. DOI: 10.26730/2587-5574-2024-4-84-95.