УДК 621.31:004.94

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В MATLAB/SIMULINK

Э. М. ОРАЗБЕРДИЕВА
Государственный энергетический институт Туркменистана
Мары, Туркменистан

Повышение энергоэффективности электротехнических систем требует совместного анализа источников, накопителей, преобразователей и переменной нагрузки. MATLAB/Simulink и Simscape Electrical позволяют объединять физические модели электрической части с алгоритмами управления и оптимизации, исследовать установившиеся и переходные режимы, а также оценивать энергопотребление при различных сценариях [1].

В работе рассматривается цифровая модель локальной системы «сеть – фотоэлектрический источник – аккумуляторная батарея – нагрузка». *Цель моделирования* – уменьшение энергии, потребляемой из внешней сети, за счет согласованного использования локальной генерации и накопителя. Структура модели приведена на рис. 1.

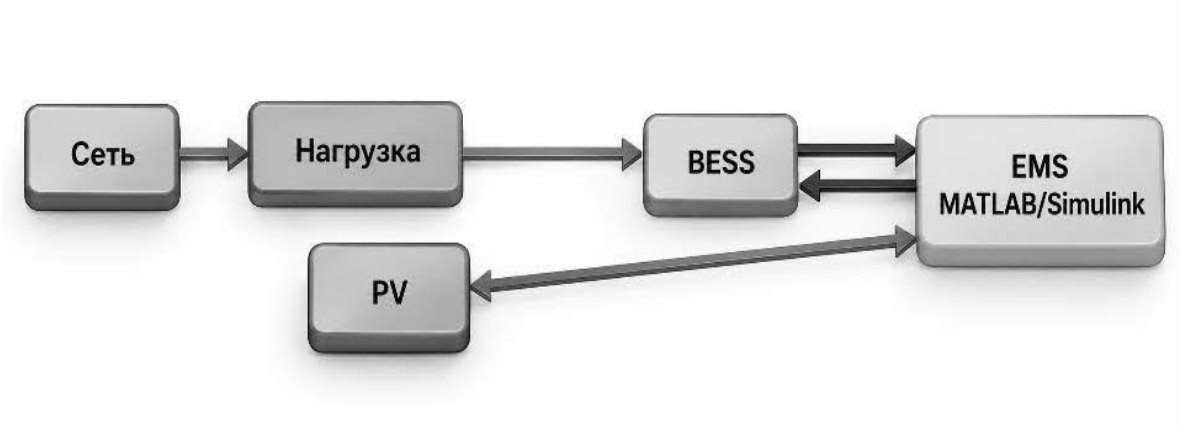


Рис. 1. Структура энергоэффективной электротехнической системы

Для каждого расчетного интервала энергетический баланс задается выражением

$$P_c(t) + P_{pv}(t) + P_b(t) = P_H(t) + P_П(t), \quad (1)$$

где P_c – мощность сети; P_{pv} – мощность фотоэлектрического источника; P_b – мощность аккумулятора; P_H – мощность нагрузки; $P_П$ – потери.

Критерием энергоэффективного управления выбран минимум энергии, получаемой из сети:

$$J = \sum P_C(k)\,\Delta t \to \min. \quad (2)$$

В Simulink модель может быть реализована блоками источника, преобразователя, нагрузки и BESS, а логика EMS – средствами MATLAB Function или Stateflow. Алгоритм в первую очередь использует солнечную генерацию для питания нагрузки, избыток направляет на заряд батареи, а в часы максимальной нагрузки разрешает разряд при соблюдении ограничений по мощности и состоянию заряда. Такой подход соответствует современным задачам EMS, в которых моделирование сочетается с прогнозированием и оптимизацией [1, 2].

Для демонстрационного вычислительного эксперимента сформирован суточный профиль с шагом 1 ч: базовая нагрузка 3 кВт с утренним и вечерним максимумами, пиковая мощность PV 4 кВт, емкость BESS 6 кВт·ч, допустимый диапазон SOC 20 %...90 %, предельная мощность заряда/разряда 2 кВт, КПД 0,95. Расчетный профиль не является результатом натурного эксперимента и используется для проверки алгоритма.

При питании только от сети суточное потребление составило 87,78 кВт·ч. Подключение PV без управления накопителем уменьшило сетевое потребление до 60,01 кВт·ч. Применение EMS с накопителем снизило его до 56,02 кВт·ч, т. е. на 36,18 % относительно исходного режима и дополнительно на 6,65 % относительно варианта с PV без управляемого BESS. Полученные значения относятся к заданному модельному профилю и не могут переноситься на реальные объекты без идентификации их параметров.

Цифровая модель позволяет варьировать мощность источника, емкость накопителя, график нагрузки и стратегию управления без перестройки физического стенда. Simscape Electrical предназначен для моделирования генерации, преобразования, передачи и потребления электрической энергии, а MATLAB/Simulink применяется для разработки EMS и оптимизационных алгоритмов [1, 3]. В современных исследованиях микросетей развитие EMS связывается с машинным обучением, IoT и цифровыми двойниками [2].

Таким образом, MATLAB/Simulink – эффективная среда цифрового исследования энергоэффективных электротехнических систем. Совместная модель источников, нагрузки и BESS позволяет количественно сравнивать режимы, выбирать параметры оборудования и проверять алгоритмы управления до создания физического прототипа. Перспектива работы – переход к реальным суточным данным, учет тарифов, потерь преобразователей и прогноз генерации и нагрузки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. MathWorks. Commercial Energy Management Systems with MATLAB, Simulink, and Simscape. – URL: https://www.mathworks.com/solutions/power-systems/commercial-energy-management.html (date of access: 16.09.2026).

2. A review of machine learning and IoT-based energy management systems for AC microgrids // Computers and Electrical Engineering. – 2025. – Vol. 127, part A. – Art. 110563.

3. MathWorks. Simscape Electrical: Model and simulate electronic, mechatronic, and electrical power systems. – URL: https://www.mathworks.com/products/simscape-electrical.html (date of access: 16.09.2026).