

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин

Статья посвящена разработке имитационной модели автономного энергетического комплекса с накопителем энергии, которая в дальнейшем может быть использована для анализа процессов разряда-заряда аккумуляторной батареи в системе автономного электроснабжения на таких возобновляемых источниках, как солнечная энергия и энергия ветра.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ветровая энергия, ветроэнергетическая установка, система автономного электроснабжения, алгоритм, управление, MATLAB, Simulink.

В настоящее время автономная малая энергетика является перспективным направлением и может находить широкое применение в районах, где подключение к внешней сети проблематично или невозможно [1]. В таких

случаях свое применение находят автономные энергетические системы, где в качестве источника электрической энергии используются ветроэнергетические установки (ВЭУ) [2]. Особое место сейчас занимают ВЭУ, работающие на переменных частотах вращения ветроколеса, использующие синхронный генератор на постоянных магнитах, трехфазный выпрямитель и преобразователь тока [3]. Такие системы показали лучшую эффективность, чем системы, использующие другие стратегии управления (например, системы с постоянной частотой вращения или системы с редукторами) [4]. При проектировании систем на основе возобновляемых источников с аккумуляторами электроэнергии обычно возникает проблема оптимальности подбора компонентов, что зачастую решается с помощью различных эмпирических методик [5]. Целью проведенного исследования являлась разработка инструмента, обеспечивающего удобный и наглядный эффективный анализ параметров автономной системы электроснабжения. Для достижения этой цели было принято решение разработать имитационную модель системы электроснабжения, работающей от ВЭУ и использующей накопитель энергии.

Для полноценной имитации процессов преобразования энергии в системе автономного электроснабжения [6] модель должна содержать следующие элементы:

- источник значения текущей скорости ветра, генерирующий сигнал, соответствующий мгновенной ветровой мощности;
- модель ВЭУ, которая на основе информации о ветровой мощности рассчитывает генерируемую электрическую мощность;
- модель потребителя электрической энергии, которая генерирует текущее значение электрической мощности, отдаваемой в нагрузку;
- модель контроллера электрической мощности, определяющая текущий баланс электрической мощности;
- модель аккумуляторной батареи (АКБ), которая является электрохимическим накопителем электрической энергии.

Предлагаемая модель была разработана в среде Matlab/Simulink [7]. Блок-схема модели автономной системы электроснабжения с накопителем энергии представлена на рис. 1.

Подсистема «Wind speed source» реализует модель источника текущей скорости ветра. Модель реализует несколько различных типов воздействия:

- постоянная скорость ветра;
- скорость ветра, изменяющаяся по гармоническому закону;
- массив выборок значений скорости ветра, полученный измерением реальной скорости ветра на метеостанции;
- ступенчатое изменение скорости ветра;
- произвольно-задаваемое значение скорости ветра с помощью блока «Signal Builder» из пакета Matlab/Simulink.

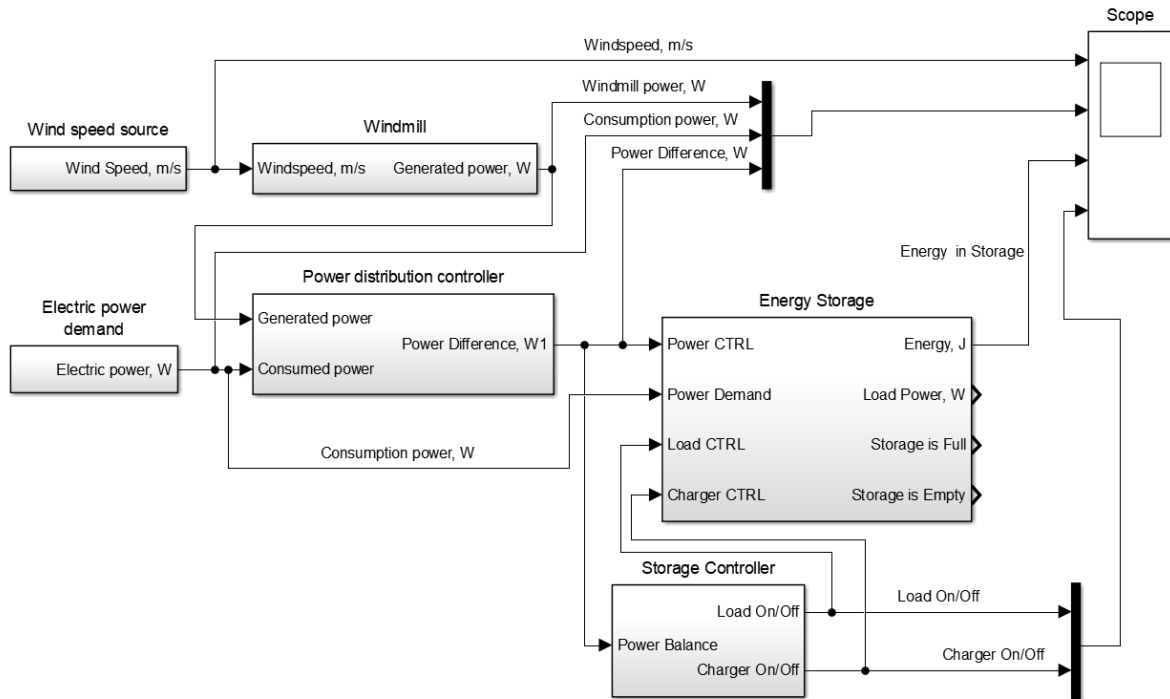


Рис. 1. Блок-схема модели автономной системы электроснабжения с накопителем энергии

Блок-схема модели источника ветровой энергии показана на рис. 2.

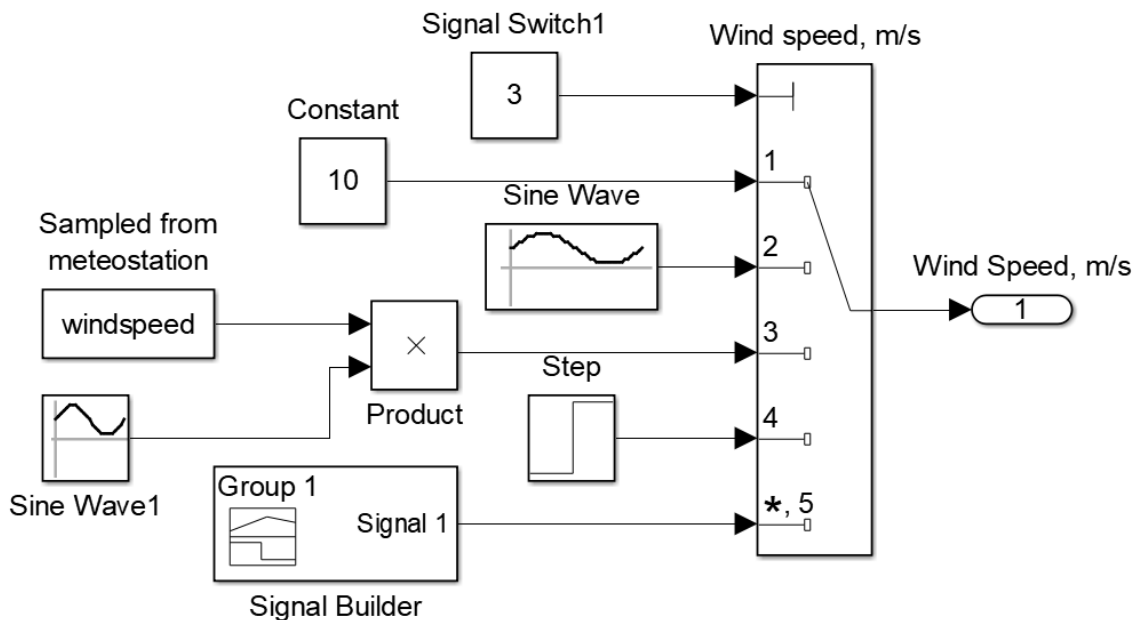


Рис. 2. Блок-схема модели источника ветровой энергии

Модель ветроэнергетической установки реализована согласно [8] и имитирует работу ВЭУ с вертикальной осью вращения в режиме поддержания заданной быстроходности для обеспечения максимальной эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию [9]. Блок-схема модели ветроэнергетической установки представлена на рис. 3.

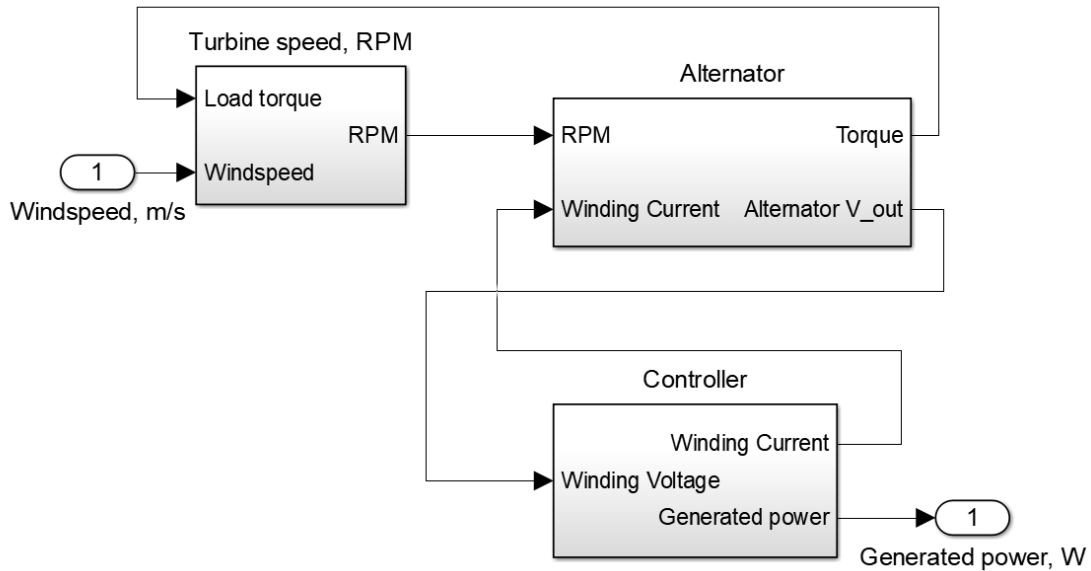


Рис. 3. Блок-схема модели ветроэнергетической установки

Модель потребителя электрической энергии обеспечивает два способа задания потребления: с помощью задания графика потребления [10] и с помощью задания вероятностных параметров для генерации случайных последовательностей. Блок-схема модели потребителя электрической энергии представлена на рис. 4.

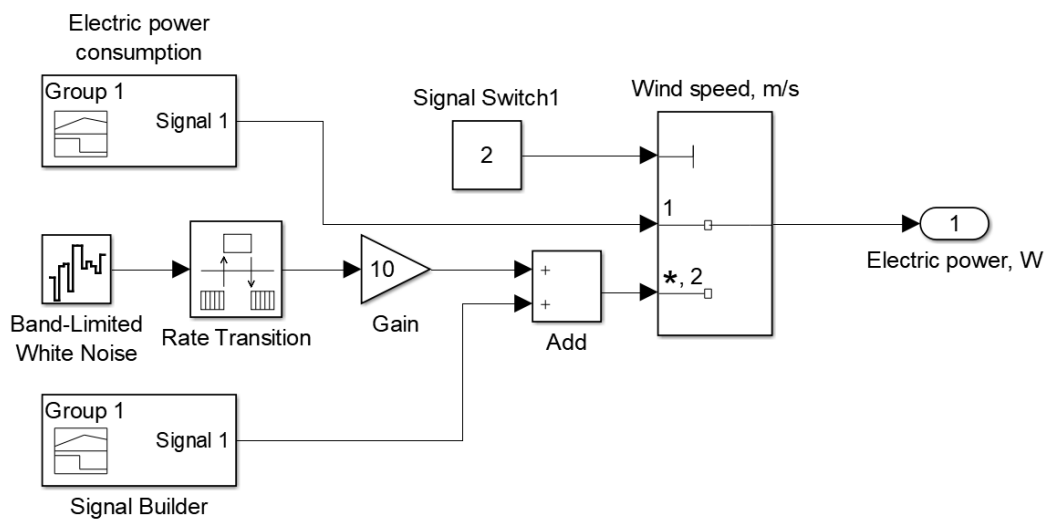


Рис. 4. Блок-схема модели потребителя электрической энергии

Модель системы управления энергетическим комплексом с накопителем электрической энергии реализована с помощью блока «S-Function» пакета Matlab/Simulink. Применение такого блока обеспечивает гибкость и универсальность при задании алгоритмов управления [11, 12]. Блок-схема модели системы управления энергетическим комплексом представлена на рис. 5. Для обеспечения работы блока «S-Function» пакета Matlab/Simulink была разработана программа на языке «Си», исходный текст которой приведен на рис. 6.

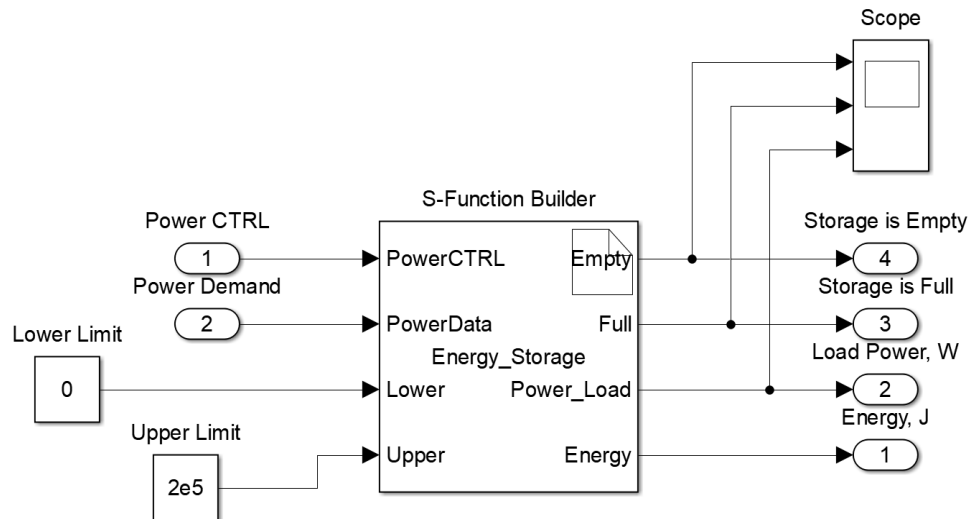


Рис. 5. Блок-схема системы управления энергетического комплекса с накопителем энергии

```
static double capacity = 10e5;

capacity = capacity + PowerCTRL[0]*0.1;

Energy[0] = capacity;

if (Energy[0] <= 0)
    Empty[0] = 1;
else
    Empty[0] = 0;

if (Energy[0] >= Upper[0])
    Full[0] = 1;
else
    Full[0] = 0;

if ((Empty[0] == 0) || (Full[0] == 0))
    Power_Load[0] = PowerData[0];
else
    Power_Load[0] = 0;
```

Рис. 6. Исходный текст программы для блока «S-Function» пакета Matlab/Simulink

Разработанная модель позволяет определять такие параметры работы системы электроснабжения, как располагаемая и генерируемая мощности, мощность нагрузки, состояние накопителя энергии, а также энергетический баланс для накопителя энергии подобно [13]. Пример результатов численных экспериментов с предлагаемой моделью представлен на рис. 7.

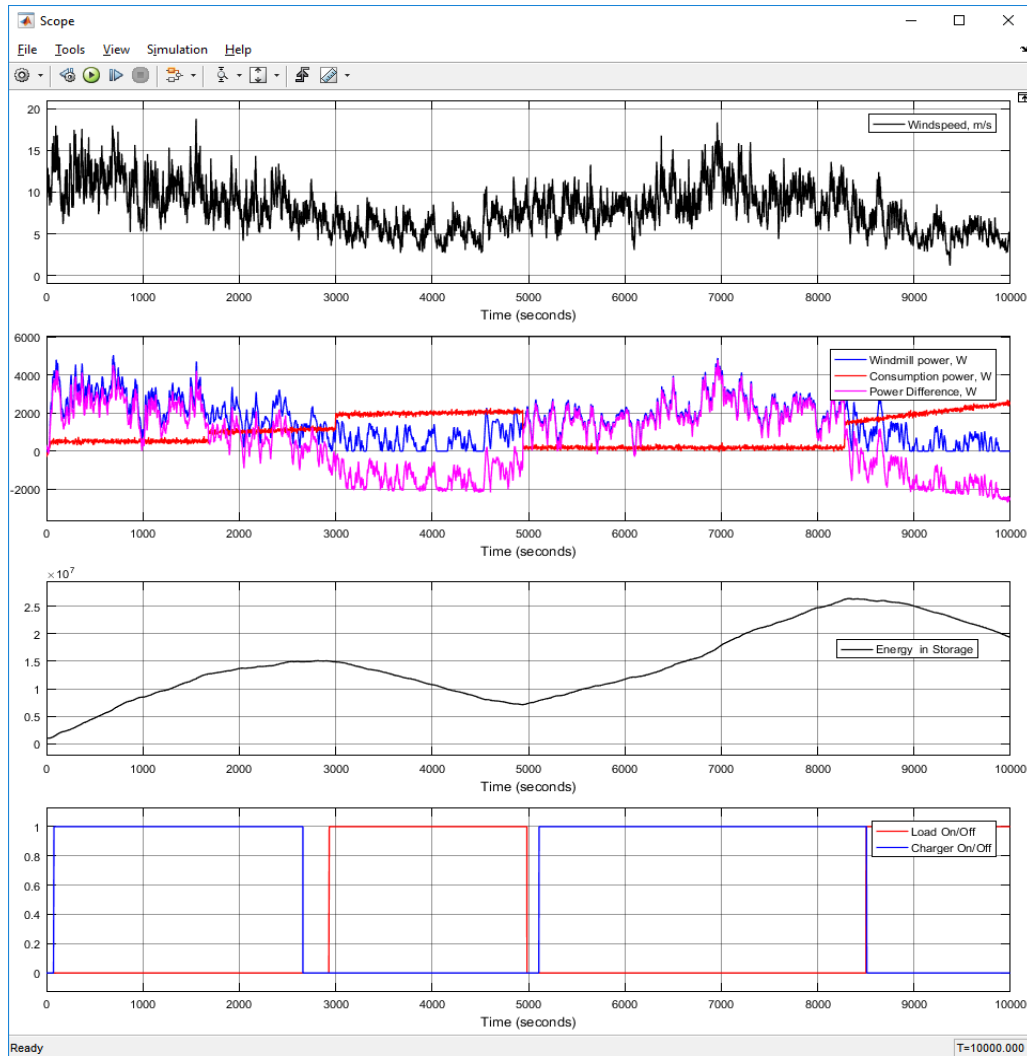


Рис. 7. Результаты моделирования автономной системы электроснабжения с накопителем энергии

Заключение. Разработанная имитационная модель автономной системы электроснабжения с накопителем энергии позволяет демонстрировать изменения параметров системы в зависимости от располагаемой ветровой мощности, графика нагрузки и состояния накопителя энергии.

Предложенная имитационная модель может быть использована для анализа процесса разряда-заряда аккумуляторной батареи в системе автономного электроснабжения на таких возобновляемых источниках, как солнечная энергия и энергия ветра, что позволит ускорить проведение исследований, подобных представленным в [14].

Библиографический список

1. Автономное энергоснабжение объектов крайнего севера / Н.А. Павлов, Д.С. Рогачёв, А.В. Сеницкий, Е.В. Соломин // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2015. – № 10–11. – С. 75–83.
2. Kirpichnikova, I.M. Vertical axis wind turbines. New aspects / I.M. Kirpichnikova, A.S. Martyanov, E.V. Solomin // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2013. – № 1–2 (118). – С. 55–58.
3. Эффективные методы регулирования мощности устройств на основе ВИЭ / Д.В. Коробатов, А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин, Е.А. Сироткин // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2016. – № 11–12 (199–200). – С. 69–78.
4. Martyanov A.S., Martyanov N.A., Anikin A.S. Comparative analysis of wind turbine control strategies // *Procedia Engineering*. – 2015. – Т. 129. – Pp. 607–614.
5. Соломин, Е.В. Основы методологии разработки вертикально-осевых ветроэнергетических установок / Е.В. Соломин // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. – 2011. – № 1. – С. 18–39.
6. Мартьянов, А.С. Система освещения, основанная на ветроэнергетической установке / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2010. – № 1. – С. 101–105.
7. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.
8. Solomin E.V., Sirotkin E.A., Martyanov A.S. Adaptive control over the permanent characteristics of a wind turbine // *Procedia Engineering*. – 2015. – Т. 129. – Pp. 640–646.
9. Simulation of a generator for a wind–power unit / I.M. Kirpichnikova, A.S. Martyanov, E.V. Solomin // *Russian Electrical Engineering*. – 2013. – № 84(10). – Pp. 46–49.
10. Мартьянов, А.С. Моделирование потребления электроэнергии / А.С. Мартьянов // *Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук*. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 174–177.
11. Development of control algorithms in Matlab/Simulink / A.S. Martyanov, E.V. Solomin, D.V. Korobotov // *Procedia Engineering*. – 2015. – № 129. Pp. 922–26.
12. Emergency Braking System for the Wind Turbine / E.A. Sirotkin, A.S. Martyanov, E.V. Solomin, S.V. Kozlov // *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016*. – Proceedings 2. 2016. – С. 7911451.
13. Имитационная модель системы освещения на основе фотоэлектрического преобразователя и аккумуляторной батареи / А.С. Мартьянов, Е.С. Бодрова, А.Ю. Дюрягин, Д.В. Коробатов // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2016. – № 23–24. – С. 21–33.
14. Козлов, С.В. Анализ эффективности систем накопления энергии / С.В. Козлов, А.Н. Киндряшов, Е.В. Соломин // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2015. – № 2. – С. 29–34.

[К содержанию](#)