



УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ РАСЧЕТА АВТОНОМНЫХ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Д.К. Кугучева, студентка, kuguchevad@yandex.ru,
М.С. Харитонов, канд. техн. наук, доц.,
maksim.haritonov@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Предложен алгоритм расчета гибридных электростанций для автономных систем электроснабжения на основе анализа кривой мощности ветроэнергетических установок, данных о скорости ветра и графиков нагрузки в автономной системе электроснабжения. Обоснован упрощенный способ математического представления кривой мощности ветроэнергетической установки для расчета выработки электроэнергии.

децентрализованное электроснабжение, ветродизельная электростанция, программный расчет, выбор состава оборудования, накопитель электрической энергии

Для районов с децентрализованной системой электроснабжения использование местных возобновляемых источников энергии является эффективным механизмом экономии топлива. Построение экономически целесообразной системы электроснабжения для северных районов возможно комбинированным применением ветроэнергетических установок (ВЭУ), дизельных электростанций (ДЭС) и накопителей электрической энергии на основе аккумуляторных батарей. Эффективность использования комплекса определяется правильным выбором состава оборудования: мощности ВЭУ и ДЭС, емкости аккумуляторных батарей [1].

Для оптимизации состава оборудования при проектировании автономных систем используется специализированное программное обеспечение (WindPro, HOMER), работа которого основана на сложных оптимизационных алгоритмах. Данные программные средства позволяют решать широкий спектр проектных и исследовательских задач, но имеют высокую стоимость и порог вхождения для пользователя. Однако в процессе проектирования автономных систем электроснабжения возникают задачи приближенного определения параметров генерирующего комплекса. Данная задача может быть решена в широко распространенной среде MS Excel на основе упрощенного алгоритма.

Реализованная в среде электронных таблиц MS Excel методика обеспечивает численное определение технических и экономических показателей работы автономной системы электроснабжения с варьируемым количеством ветроустановок и аккумуляторных батарей при заданном изменении параметров ветровой активности и электрической нагрузки.

Исходными данными для моделирования режима работы системы электроснабжения выступают нагрузка потребителей, технические параметры устанавливаемого генерирующего оборудования, технико-экономические показатели, климатические данные по месту предполагаемой установки оборудования. Расчеты генерируемой и потребляемой мощности выполняются раздельно для каждого варианта схемы с целью определения конечных данных по себестоимости электроэнергии, расходу дизельного топлива, сроку окупаемости и соотношению выработки электроэнергии на ВЭУ и ДЭС. Результаты выводятся в виде таблиц и графиков.

При разработке методики и алгоритмов приняты следующие допущения:
– расчет ведется в интервалах времени продолжительностью от 1 до 3 ч;

– ветропотенциал в месте расположения ВЭУ задается средними значениями скорости ветра на расчетных интервалах времени с учетом данных о ветровой активности в районе расположения электростанции;

– расчет капиталовложений, срока окупаемости и стоимости произведенной электроэнергии производится с учетом актуальных на момент исследования технико-экономических показателей устанавливаемого оборудования, экономически-обоснованных тарифов на электроэнергию и тарифов для населения, цены на топливо;

– показатели надежности оборудования не учитываются, каждый элемент проектируемой электростанции находится в рабочем состоянии или в холодном резерве.

В программе расчета количество ветроустановок и емкость аккумуляторных батарей задается пользователем заранее, а состав оборудования выбирается с учетом анализа n-го количества вариантов. В зависимости от соотношения между генерацией за счет ВЭУ и потреблением задействуются либо аккумуляторные батареи в режиме заряда/разряда, либо ДЭС. Параметры ДЭС не задаются, поскольку их влияние учитывается только в случае дефицита электроэнергии от ВЭУ и полного разряда аккумуляторных батарей (рис. 1). Для снижения потерь электроэнергии в рамках предложенной методики ДЭС не используются для заряда батарей. Суммарная выработка электроэнергии ВЭУ и ДЭС за расчетный период определяется по выражениям (1) и (2).

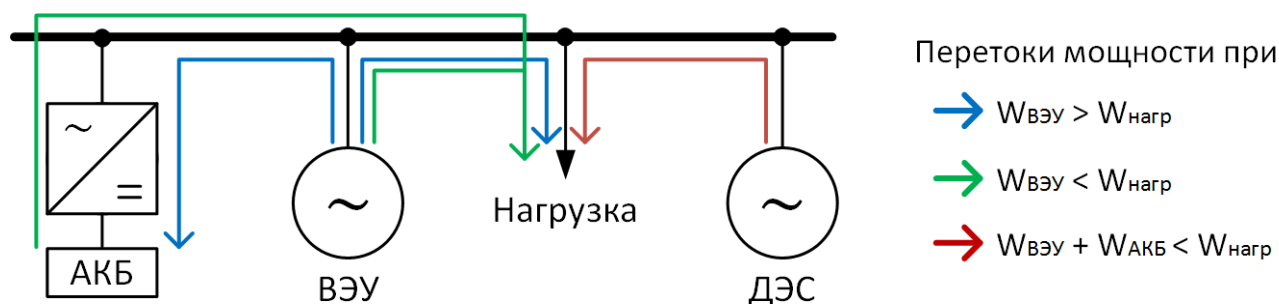


Рисунок 1 – Направление перетоков мощности в автономной системе электроснабжения

$$W_{ВЭУ} = \sum_{t=1}^{T_{год}} P_{ВЭУ}^t \cdot \Delta t, \quad (1)$$

$$W_{ДЭС} = \sum_{t=1}^{T_{год}} P_{ДЭС}^t \cdot \Delta t, \quad (2)$$

где Δt – продолжительность временного интервала;

$P_{ВЭУ}^t, P_{ДЭС}^t$ – мощности, выработанные ветроустановками и дизельными генераторами в t-м временном интервале.

Расчет потоков энергии в автономной системе электроснабжения (рис. 1) при использовании предложенной методики ведется в определенной последовательности: для заданного шага согласно полученным данным по скорости ветра для ВЭУ определяется возможная выработка электроэнергии.

1) Если выработанная ветроустановками электроэнергия равна текущему потреблению, то вся нагрузка покрывается за счет работы ветропарка.

2) При избытке мощности, выработанной ветроустановками, излишки поступают на заряд накопителей. При заряде накопителей 100% в автоматическом режиме снижается генерируемая мощность ВЭУ.

3) Если мощность, выработанная ветропарком, меньше текущего потребления, то происходит покрытие недостатка энергии за счет работы аккумуляторных батарей.

4) При разряде аккумуляторных батарей нагрузка потребителей покрывается за счет работы дизельных генераторов.

Программный расчет выработки электроэнергии на ВЭУ (1) осложняется непостоянством средней скорости ветра за расчетный период и нелинейной зависимостью мощности ВЭУ от скорости ветра (рис. 2).

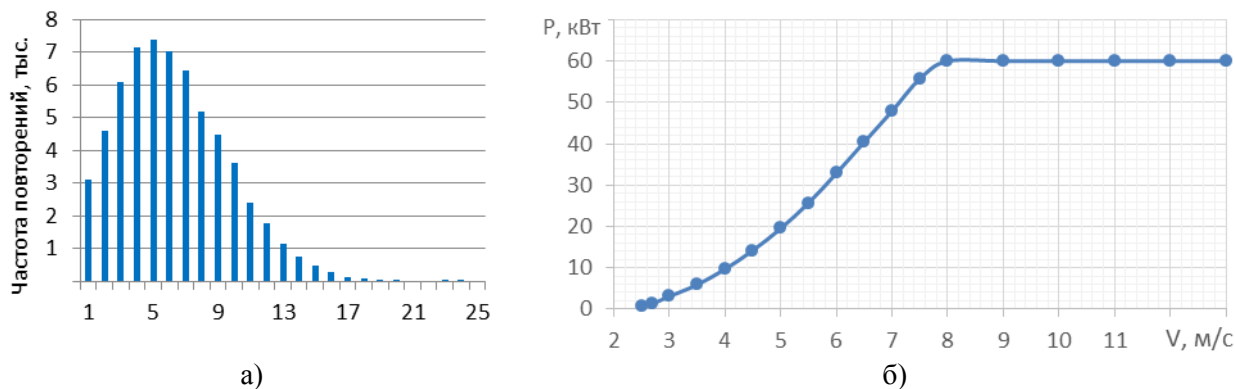


Рисунок 2 – Примеры распределения средней скорости ветра на интервалах времени за расчетный период (а) и кривой мощности ВЭУ (питч-регулирование) (б)

Для учета зависимости мощности ВЭУ от скорости ветра при реализации предложенной методики кривая мощности ВЭУ разделяется на три участка: нулевой, переменной и номинальной мощности. Нулевая и номинальная мощности вводятся в расчет соответствующими значениями, участок переменной мощности – математическим выражением зависимости мощности от скорости ветра. Для этого по паспортным данным ВЭУ в программной среде MS Excel строится участок переменной мощности и аппроксимируется полиномиальной кривой n-й степени посредством построения линии тренда (рис. 3). Построенная полиномиальная функция для кривой мощности должна характеризоваться высоким коэффициентом достоверности аппроксимации R^2 (3) [2].

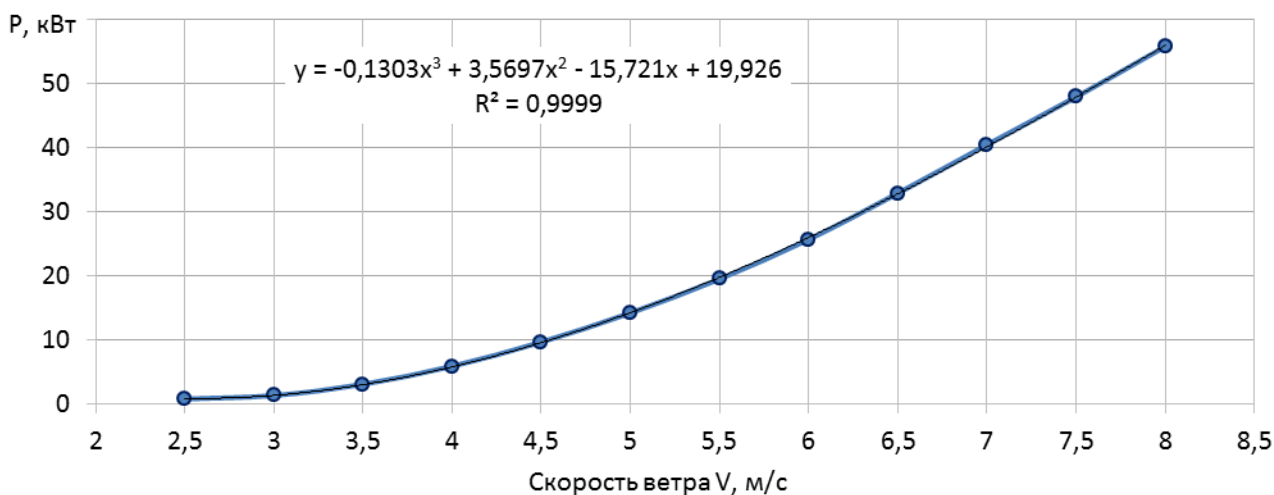


Рисунок 3 – Аппроксимация участка кривой мощности ВЭУ полиномиальной кривой третьей степени

$$R^2 = 1 - \frac{D[y/x]}{D[y]} = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma_y^2} \quad (3)$$

где $D[y] = \sigma_y^2$ - дисперсия случайной величины y ;

$D[y/x] = \sigma^2$ – условная дисперсия зависимой переменной.

Итоговый алгоритм расчета мощности ВЭУ на единичном интервале времени с учетом разделения кривой мощности на три интервала представлен на рис. 4.

Алгоритм расчета заряда батареи за каждый расчетный интервал времени показан на рис. 5а. В зависимости от цикла заряда-разряда батареи происходит определение энергии, запасенной в накопителе на конец расчетного интервала времени с учетом предшествующего периода. Алгоритм расчета энергии, выработанной дизельными генераторами за расчетный интервал времени, приведен на рис. 5б. При неспособности ВЭУ и накопителя энергии покрыть нагрузку за расчетный интервал разница покрывается за счет работы ДЭС.

В результате применения предложенных алгоритмов для расчета некоторой автономной системы электроснабжения с заданной конфигурацией оборудования определяется соотношение между выработкой электроэнергии за счет ВЭУ и ДЭС. Варьируя параметры ВЭУ и накопителя электроэнергии при неизменных параметрах электрической нагрузки и ветропотенциала, возможно получить ряд конкурентных вариантов для дальнейшего сопоставления с учетом себестоимости единицы выработанной электроэнергии (4) [3]:

$$C_{\text{э}} = \frac{\Sigma \text{Ж}}{\text{Э}_{\text{ген}} \cdot C_{\text{р}}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{э}}$ - себестоимость вырабатываемой энергии;
 $\Sigma \text{Ж}$ - суммарные капиталовложения, руб.;
 $\text{Э}_{\text{ген}}$ – среднегодовая выработка электроэнергии, кВт*ч;
 $C_{\text{р}}$ – Нормативный срок службы оборудования, лет.

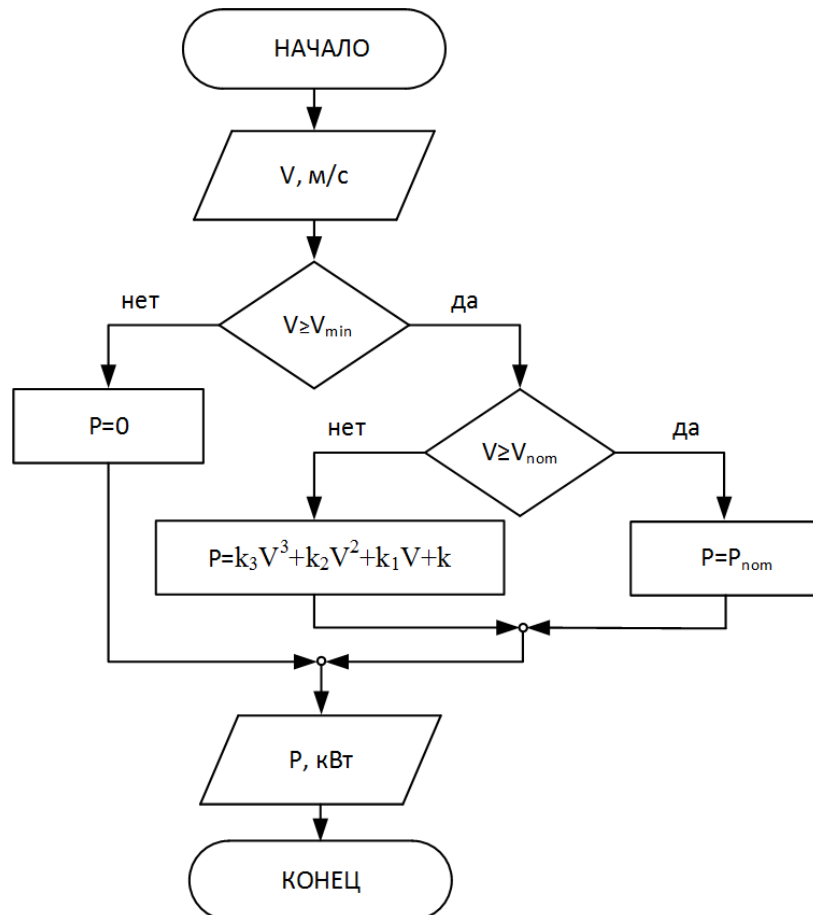


Рисунок 4 – Алгоритм расчета мощности ВЭУ в зависимости от скорости ветра

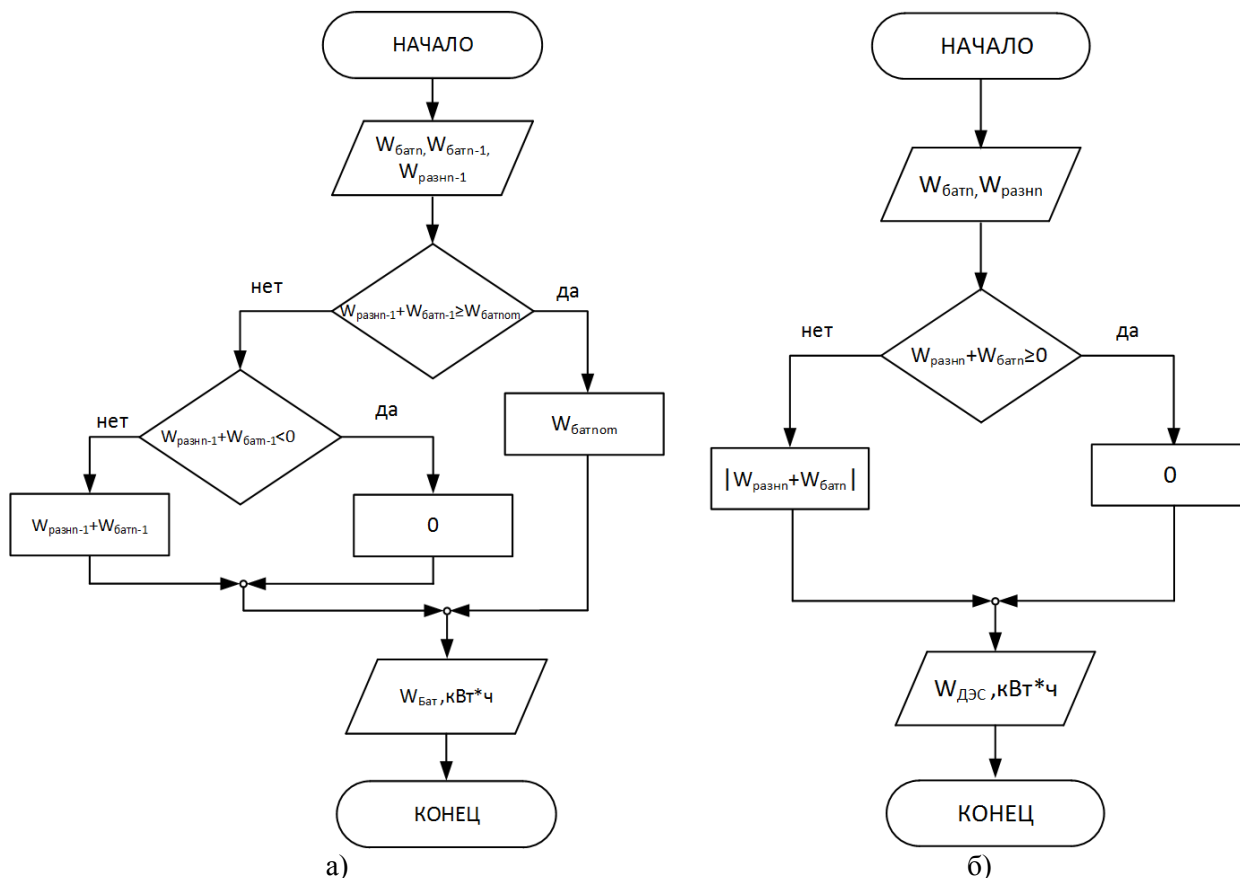


Рисунок 5 – Алгоритм расчета энергии в накопителе (а) и энергии, вырабатываемой ДЭС (б)

Таким образом, предложенные алгоритмы позволяют производить расчет и сопоставление различных конфигураций оборудования для автономных ветродизельных электростанций с накопителями энергии в условиях отсутствия доступа к специализированному программному обеспечению. Алгоритмы не обеспечивают автоматизированной оптимизации параметров оборудования, однако позволяют вести оценочные расчеты на ранних стадиях проектирования для определения примерного состава оборудования и выбора параметров ВЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елистратов, В.В. Выбор состава оборудования модульной ВДЭС с высокой долей замещения на основе метода анализа иерархий / В.В. Елистратов, Р.С. Денисов, М.А. Конищев // Возобновляемая энергетика. - 2015. - №7. – С. 37-47.
2. Ивченко, Г.И. Введение в математическую статистику: учебник / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. – Москва: Издательство ЛКИ, 2010. - 600 С.
3. Сидоренко, Г.И. Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Техничко-экономический анализ: учеб. пособие / Г.И. Сидоренко, И.Г. Кудряшева, В.И. Пименов; под общ. ред. В.В. Елистратова, Г.И. Сидоренко. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. - 248 С.

SIMPLIFIED ALGORITHM FOR CALCULATING AUTONOMOUS WIND-DIESEL POWER PLANTS WITH ENERGY STORAGE

D.K. Kugucheva, student, kuguchevad@yandex.ru
M.S. Kharitonov, Dr.Sc.(eng.), Associate Professor, maksim.haritonov@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The paper concerns the algorithm for calculating hybrid power plants in autonomous power supply systems based on the analysis of the power curve of wind turbine, wind speed data and electric load graphs. The authors propose a simplified method for the mathematical representation of the wind power turbine power curve for calculating electricity generation.

decentralized power supply, wind-diesel power station, software calculation, equipment composition selection, electric energy storage