

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОПАРКА

Для снижения затрат на передачу электроэнергии предлагается использовать распределенную генерацию на базе ветроэнергетических установок (ВЭУ). При этом для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей экономически эффективным является применение ветроэнергетических установок малой мощности, объединенных в ветропарк. Разработана математическая модель, позволяющая определить основные показатели ВЭУ и параметры ветропарка, обеспечивающие минимум удельных затрат на выработку и передачу электроэнергии.

Ключевые слова: распределенная генерация, ветроэнергетическая установка, ветропарк.

S.K. Sheriazov, M.V. Shelubaev

THE DEVELOPMENT OF THE PARAMETER DETERMINATION METHOD OF THE WIND PARK

In order to decrease the expenses on the electric power transfer it is offered to use the distributed generation on the basis of the wind power installations (WPI). Herewith, the application of wind power installations of the low power united in the wind park is economically effective for the power supply of agricultural consumers. The mathematical model, allowing to define the WPI main indicators and the wind park parameters providing the minimum cost per unit for the electric power development and transfer is developed.

Key words: distributed generation, wind power installation, wind park.

Ежегодный рост тарифов на электроэнергию и снижение надежности электроснабжения, вызванное физическим износом электрических сетей, заставляет сельскохозяйственных потребителей (СХП) развивать собственное энергетическое хозяйство. При этом одним из путей является развитие распределенной генерации (РГ) – малых электростанций, которые подключаются к распределительным устройствам потребителей [1].

В качестве источников электроэнергии рассматриваются газопоршневые установки (ГПУ) (основные источники) и резервные генераторы, работающие на дизельном топливе. Однако применение ГПУ возможно только в газифицированных районах, и себестоимость электроэнергии, как и от ДЭС, остается высокой.

Выходом из сложившейся ситуации является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), являющихся одним из направлений РГ, что позволяет решать проблему не только энергетического, но и экологического характера [2]. При этом менее капиталоемким направлением является ветроэнергетика [3]. Для СХП актуальными являются ветроэнергетические установки (ВЭУ) малой мощности (до 100 кВт) [6].

Основным показателем при использовании ВЭУ является ожидаемая выработка электроэнергии. Количество вырабатываемой энергии зависит от диаметра ветроколеса (ВК) и рабочей скорости ветра для ВЭУ ($v_{\text{раб}}$).

При скорости ветра $v \geq v_{\text{раб}}$ вырабатывается качественная электроэнергия. Количество качественной электроэнергии ($\text{kВт} \cdot \text{ч}$) определяется по выражению [4]

$$W_{\text{yд}}^{\text{кач}} = \delta T \left[v_p^3 \int_{v_p}^{v_{\text{max}}} f(v) dv \right], \quad (1)$$

где δ – постоянная, зависящая от конструктивной особенности ВЭУ ($\delta=0,0002$); T – время работы за расчетный период; $f(v)$ – функция распределения скорости ветра.

Зависимость вырабатываемой электроэнергии от рабочей скорости на примере трех ветроэнергетических районов Челябинской области приведена на рисунке 1.

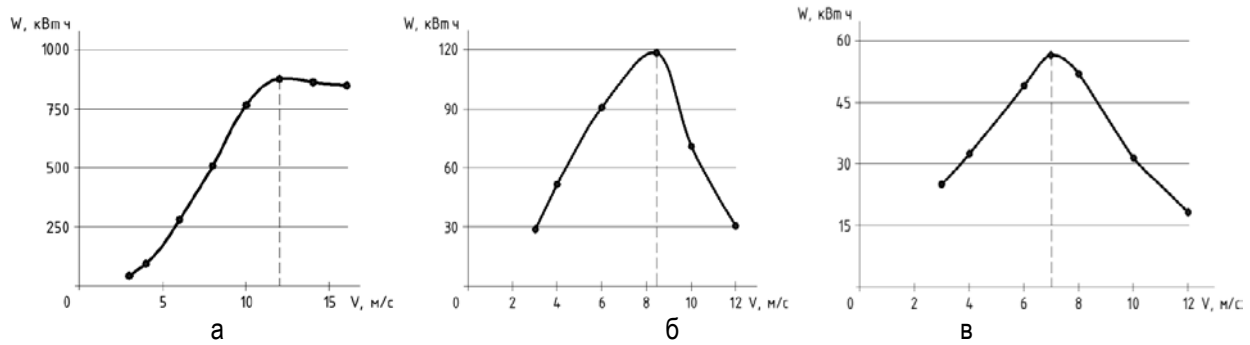


Рис. 1. Зависимость вырабатываемой качественной электроэнергии от рабочей скорости ВЭУ за год:
а – в первом ветроэнергетическом районе; б – во втором ветроэнергетическом районе;
в – в третьем ветроэнергетическом районе

Анализ приведенных зависимостей показывает на наличие рабочей скорости для каждого ветроэнергетического района Челябинской области, при которой ожидается максимум вырабатываемой электроэнергии. Данная рабочая скорость ветра для ВЭУ выше средней скорости ветра, что приведет к недоиспользованию энергии ветрового потока.

При скорости ветра $V < V_{\text{раб}}$ величина напряжения и частоты тока, вырабатываемых генератором ВЭУ, выше допустимого отклонения, регламентируемого ГОСТ Р 54149-2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Для более полного использования энергии ветра следует преобразовывать некачественную электроэнергию от генератора ВЭУ, которая вырабатывается при скорости ветра ниже рабочей, в качественную. В таком случае, согласно [4], количество вырабатываемой электроэнергии (кВт · ч) можно определить как

$$W_{y\partial} = \delta T \left[\int_{v_{\min}}^{v_p} v^3 f(v) \cdot dv + v_p^3 \int_{v_p}^{v_{\max}} f(v) dv \right]. \quad (2)$$

Исследование количества вырабатываемой электроэнергии в зависимости от скорости ветра не позволило определить оптимальное значение скорости ветра для ВЭУ (рис. 2).

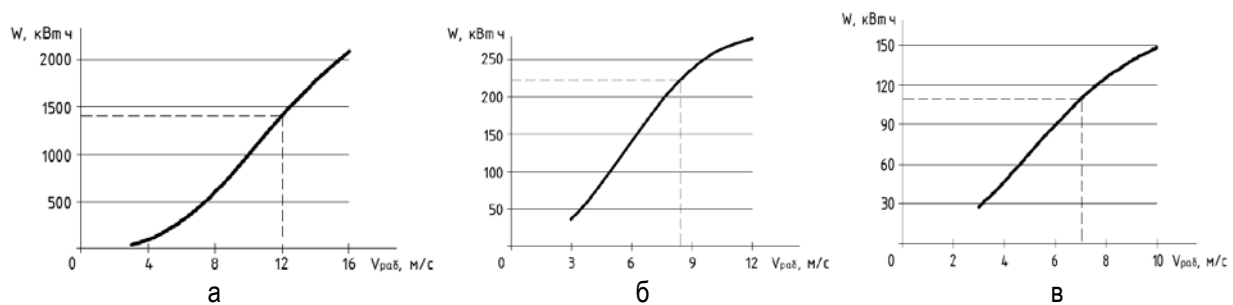


Рис. 2. Зависимость удельной вырабатываемой электроэнергии от рабочей скорости ветра для ВЭУ в ветроэнергетических районах Челябинской области: а – первый район; б – второй район; в – третий район

Анализ затрат на ветроэнергетические установки показывает, что чем выше рабочая скорость ветра для ВЭУ, тем происходит большее удорожание вырабатываемой энергии. Поэтому рекомендуется выбрать рабочую скорость ветра для ВЭУ из условия максимума выработки энергии.

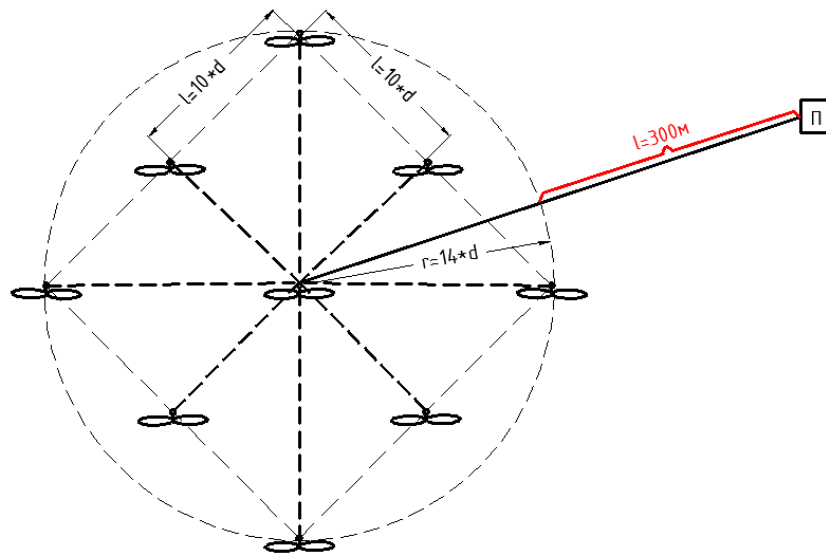
Выбор другого параметра ВЭУ, диаметра ВК, можно осуществить по известной методике. Так, для эффективного электроснабжения СХП существует методика выбора оптимальной площади ВК (м²), обеспечивающая минимальные затраты на потребляемую энергию от ВЭУ [4]

$$A_{omm} = A_0 - (A_c - A_0) \cdot \ln \left(\frac{a K_{y\partial}^{BЭУ} \cdot A_c}{p(v) \cdot \beta_m \cdot B_m} \right), \quad (3)$$

где a – ежегодные суммарные отчисления на эксплуатацию ВЭУ; $K_{y\partial}^{BЭУ}$ – удельные капиталовложения на ВЭУ, руб/м²; A_0 и A_c – потребная минимальная и средняя площадь ВК соответственно, м²; β_t – стоимость топлива, руб/т у.т.; B_t – количество сэкономленного топлива, т у.т.

Для обеспечения потребной энергии, возможно, потребуется несколько ВЭУ с суммарной ометаемой площадью ВК, равной оптимальной или близкой к ней. В этих условиях необходимо выбрать оптимальное количество ВЭУ в зависимости от диаметра ВК.

Выбранные ВЭУ малой мощности соединяются между собой линиями электропередачи (рис.3). Тогда совокупность ВЭУ с преобразовательными устройствами и линиями электропередач (ЛЭП) представляется как ветропарк (ВП). Совокупность нескольких ВП будет представлять ветроэлектрическую станцию. ВП можно подключить к магистрали электрической сети, обеспечив охранную зону от ВЭУ, равную 300 м [5].



Примечание:

- - расстояние от ВЭУ до центра ВП;
- - расстояние от центра ВП до потребителя;
- П - потребитель.

Рис. 3. Схема ветропарка, состоящего из 9 ВЭУ

Затраты на электроснабжение от ВП зависят от количества ВЭУ и длины ЛЭП. Для обеспечения минимальных затрат необходимо их оптимизировать.

Критерием оптимизации параметров ВП являются удельные затраты на выработку и передачу электроэнергии. Удельные затраты на выработку электроэнергии (руб/кВт · ч) зависят от $v_{\text{раб}}$ и диаметра ВК и определяются по выражению

$$C_{\text{выр}} = \frac{a \cdot K_{\text{уд}}^{BЭУ}}{W_{\text{уд}}^{BЭУ}}. \quad (4)$$

Удельные затраты на передачу электроэнергии (руб/кВт · ч) зависят от количества ВЭУ, объединенных в единую сеть в составе ВП [3], и определяются как

$$C_{\text{пер}} = \frac{a \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пер}}}{W_{\text{уд}}^{\text{вэу}}}, \quad (5)$$

где $K_{\text{уд}}^{\text{пер}}$ – удельные затраты на передачу электроэнергии, руб/м².

Тогда себестоимость электроэнергии от ВП (руб/кВт·ч) будет определяться как сумма удельных затрат

$$C_{\text{ВП}} = C_{\text{выр}} + C_{\text{пер}} = \frac{a \cdot K_{\text{уд}}^{\text{вэу}}}{W_{\text{уд}}^{\text{вэу}}} + \frac{a \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пер}}}{W_{\text{уд}}^{\text{вэу}}} = \frac{a(K_{\text{уд}}^{\text{вэу}} + K_{\text{уд}}^{\text{пер}})}{W_{\text{уд}}^{\text{вэу}}}. \quad (6)$$

Следовательно, целевая функция – удельные затраты на потребляемую электроэнергию от ВП, с учетом её выработки и передачи представляется как

$$C_{\text{ВП}} = \frac{a_1 \cdot K_{\text{уд.вп1}}}{W_{\text{уд.1}}^{\text{вэу}}} + \frac{a_2 \cdot K_{\text{уд.вп2}}}{W_{\text{уд.2}}^{\text{вэу}}} + \dots + \frac{a_i \cdot K_{\text{уд.впи}}}{W_{\text{уд.i}}^{\text{вэу}}} \Rightarrow \min, \quad (7)$$

где $K_{\text{уд.вп}}$ – удельные капиталовложения в ВП, руб/м²; индекс i – указывает возможное наличие разных типов ВЭУ в составе ВП.

Удельные затраты на потребляемую электроэнергию от ВП в основном зависят от показателей ВЭУ. При этом важно определить оптимальное количество ВЭУ в составе ВП, которые по сути влияют и на затраты при передаче выработанной электроэнергии.

Таким образом, при оптимизации параметров ВП сначала требуется выбрать необходимое количество ВЭУ. Тогда решение поставленной задачи по минимизации удельных затрат возможно при следующих линейных ограничениях при выборе ВЭУ:

$$\begin{cases} P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + \dots + P_i \cdot x_i \leq P_{\text{расч}} \\ 100d_1^2 \cdot x_1 + 100d_2^2 \cdot x_2 + \dots + 100d_i^2 \cdot x_i \leq S \\ 0,785d_1^2 \cdot x_1 \cdot W_{\text{уд.вэу1}} + 0,785d_2^2 \cdot x_2 \cdot W_{\text{уд.вэу2}} + \dots + 0,785d_i^2 \cdot x_i \cdot W_{\text{уд.вэуi}} \leq 0,01 \cdot S \cdot W_{\text{уд}}, \end{cases} \quad (8)$$

где x , P – количество и мощность рассматриваемого типа ВЭУ; d – диаметр ВК; $W_{\text{уд.вэу}}$ – количество удельной вырабатываемой энергии от ВЭУ; $P_{\text{расч}}$ – расчетная нагрузка; S – площадь имеющейся территории; $W_{\text{уд}}$ – ветроэнергетический ресурс с удельной площади территории.

Ветроэнергетический ресурс рассматриваемой территории зависит от характеристики скорости ветра. Для оценки ее воспользуемся энергетической характеристикой ветрового потока $v_{\text{ср.м}}$, которую можно оценить по средней скорости ветра $v_{\text{ср}}$ (м/с) [4]

$$v_{\text{ср.м}} = 1,4 + 1,1v_{\text{ср}}. \quad (9)$$

Тогда ветроэнергетический ресурс с удельной площади территории (кВт·ч/м²)

$$W_{\text{уд}} = \delta T v_{\text{ср.м}}^3 = \delta T (1,4 + 1,1v_{\text{ср}})^3. \quad (10)$$

Остальные параметры в приведенных ограничениях следует определить.

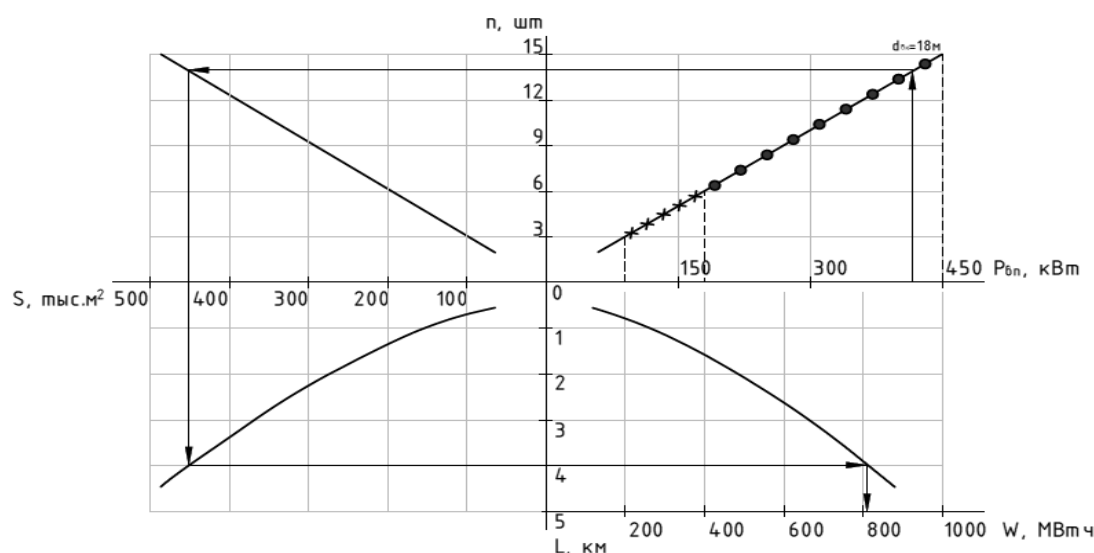
Рассматриваемая задача относится к классу задач линейного программирования. Для решения задачи такого типа воспользуемся симплекс-методом.

Решение поставленной задачи с учетом приведенных линейных ограничений позволило установить показатели ВЭУ малой мощности, обеспечивающие минимум удельных затрат на выработку электроэнергии. Результаты расчета для Челябинской области приводятся в таблице.

Показатели ВЭУ, обеспечивающие минимум удельных затрат на выработку электроэнергии в составе ВП

Показатель	Ветроэнергетический район		
	1	2	3
Рабочая скорость, м/с	12	8,5	7
Диаметр ВК, м	13	18	18
Мощность генератора, кВт	50	30	20

Для определения параметров ВП разработана номограмма. Так, по заданной электрической нагрузке можно определить оптимальное количество ВЭУ, потребную площадь для ВП, длину ЛЭП и количество вырабатываемой электроэнергии. В качестве примера на рисунке 4 приведена номограмма определения параметров ВП для второго ветроэнергетического района Челябинской области.



Примечание:

1. $\times \times \times$ – рекомендуемое количество ВЭУ при напряжении питающей сети 0,4 кВ;
2. $\bullet \bullet \bullet$ – рекомендуемое количество ВЭУ при напряжении питающей сети 6–10 кВ;
3. При потребной мощности, превышающей $P_{эл}$ использовать несколько ветропарков.

Рис. 4. Номограмма для определения параметров ВП во втором ветроэнергетическом районе Челябинской области

Анализ номограммы показывает, что для заданной электрической нагрузки 400 кВт рекомендуется выбрать 14 ВЭУ с диаметром ВК 18 м, которые размещаются на территории 450 тыс. м². Суммарная длина ЛЭП составляет 4 км, магистральная линия выполняется напряжением 6–10 кВ. При этом ожидается выработка около 800 МВт·ч электрической энергии. Стоимость электроэнергии от ВП составит 2,45 руб/кВт·ч.

Таким образом, для обеспечения потребной электроэнергии в качестве источника РГ можно выбрать несколько ВЭУ малой мощности, соединенных ЛЭП и представляющих собой ВП. Для эффективного использования ВП предложена математическая модель, позволяющая выбрать показатели ВЭУ, обеспечивающие минимум удельных затрат на выработку электроэнергии. Предложен метод определения основных параметров ВП, на основе которого разработана номограмма для второго ветроэнергетического района Челябинской области.

Литература

1. Моисеев Л.Л., Сливной В.Н. Распределенная генерация энергии – фактор повышения энергетической безопасности региона // Ползуновский вестник. – 2004. – № 1. – С.226–229.
2. Тарасенко В.В. Оптимизация развития и функционирования системы энергоснабжения с распределенной генерацией: дис. ... канд. техн.наук. – Челябинск, 2012. – 154 с.
3. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. – М.: КолосС, 2008. – 263 с.
4. Шерязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей. – Челябинск: Изд-во ЧГАУ, 2008. – 300 с.
5. Шерязов С.К., Шелубаев М.В. Принципы разработки ветропарка в системе сельского электроснабжения // Вестник КрасГАУ. – 2012 – № 10. – С.184–187.
6. Инвестиционный бизнес: учеб. пособие / под общ. ред. Ю.В. Яковцева. – М.: Изд-во РАГС, 2002. – 342 с.



УДК 697

Я.А. Кунгс, Н.В. Цугленок, О.Н. Животов, Е.Ю.Таран,
А.Б. Шаталов, С.А. Кузнецов, А.С. Шклярчук

МАЛЫЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ (ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ)

В статье приведен эскизный проект малого энергоэффективного жилого дома, в котором предполагается использование только возобновляемых источников энергии: солнечного излучения для получения тепловой и электрической энергии и геотермальной энергии для обогрева дома. Приведены основные экономические показатели: капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Ключевые слова: энергоэффективность, нетрадиционные источники энергии, тепловой насос, экономия энергии.

Ya.A. Kungs, N.V. Tsuglenok, O.N. Zhivotov, E.Yu.Taran,
A.B. Shatalov, S.A. Kuznetsov, A.S. Shklyaruk

SMALL ENERGY-EFFICIENT APARTMENT BUILDING (DRAFT DESIGN)

The draft design of the energy-efficient small apartment building where it is supposed to use only renewable energy sources: solar radiation to produce heat and electric energy and geothermal energy to heat the house is presented in the article. The main economic indices: capital costs and operating costs are given.

Key words: energy efficiency, non-traditional energy sources, heat pump, energy saving.

Введение. Одной из современных тенденций жилищного строительства является разработка и конструирование зданий, в которых комфорт планировочных решений сочетался бы с экологичностью и энергоэффективностью [1, 2].

Основной принцип проектирования энергоэффективного дома – поддержание комфортной внутренней температуры без применения систем отопления и вентиляции за счет максимальной герметизации здания и использования альтернативных источников энергии.

С планировочной точки зрения это 1–3-этажные дома, объемная структура которых проектируется максимально компактной с возможно меньшей изрезанностью фасада, что уменьшает площадь наружных ограждений и снижает тем самым теплопотери через них. Обязательным условием является наличие входного тамбура. Ориентация дома – широтная, окнами на юг, так как основным источником тепла для обогрева дома является солнечная энергия. Затененность дома деревьями и другими строениями исключается.

С точки зрения инженерных систем предполагается использование только возобновляемых источников энергии: солнечного излучения для получения тепловой энергии для горячего водоснабжения, а совместно с энергией ветра электрической энергии, геотермальной энергии для обогрева жилых и технологических помещений.