

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Тагирова Камиля Ривалевна

студент, Астраханский государственный технический университет, РФ, г. Астрахань

Романенко Николай Геннадьевич

научный руководитель, канд. техн. наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, РФ, г. Астрахань

Исходя из природных и климатических особенностей, а также развитой сетевой инфраструктуры, Астраханская область представляет собой один из наиболее перспективных регионов для развития возобновляемой энергетики. Особый интерес представляют широкие зоны ветрового коридора, характеризующаяся стабильными и интенсивными ветрами по направлению и силе, что делает ее привлекательной для развития ветроэнергетики.

Высокие мачты ветряных энергетических установок обеспечивают возможность полного использования энергии ветра. Отбор мощности начинается приблизительно с скорости ветра 4 м/с, а номинальная мощность ветроэнергетических установок достигается при скорости ветра 14-16 м/с. Эти параметры свидетельствуют о перспективности использования ветровой энергии в данном регионе для производства электроэнергии.

Рисунок 1 иллюстрирует регионы России, где установка ветроэнергетических установок (ВЭС) является целесообразной. В контексте Астраханской области этот рисунок показывает, что скорость ветра на данной территории доминирует и является приемлемой для строительства ветроустановок.



Рисунок 1. Распределение среднегодовой скорости ветра на территории России

Важным показателем в области ветроэнергетики является "Повторяемость различных градаций скорости ветра", который может быть рассмотрен как процент времени, в течение которого наблюдалась определенная градация скорости ветра. Этот показатель представляет собой временную характеристику скорости ветра, и его значимость заключается в оценке временных интервалов работы ветроэлектростанции при различных скоростях ветра.

Анализ распределения ветровых ресурсов по территории Астраханской области указывает на то, что по мере приближения к Каспийскому морю мощность ветрового потока увеличивается. Удельная мощность ветра на высоте 100 м в прибрежных районах составляет до

1100 Вт/м² и выше. Это, безусловно, представляет перспективу для развития крупной ветроэнергетики [1].

Данные о распределении ветрового потенциала в течение года по градациям приведены в таблице 1 для рассматриваемого предприятия в Астраханской области. Учитывая заметные сезонные изменения скорости ветра, разумно выбирать месяц в качестве интервала дискретизации ветрогенерации. Таким образом, среднее значение распределения месячного ветрового потенциала определяется на основе обработки ежедневных наблюдений на ближайшей метеостанции.

Таблица 1

Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра для рассматриваемого предприятия в Астраханской области

Скорость ветра, м/с	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Рассматриваемое предприятие в Астраханской области													
0-1	28,7	28,3	26,5	23,1	16,4	20,5	30,7	28,3	23,6	19,5	19,2	28,0	24,4
2-3	33,6	33,1	32,0	31,0	31,0	31,8	36,0	26,6	36,3	33,2	32,0	34,5	33,4
4-5	22,8	23,9	25,4	27,3	31,4	29,8	22,4	23,6	26,0	30,1	28,3	23,6	26,3
6-7	10,4	10,4	11,4	12,7	14,2	12,3	7,8	8,0	9,6	12,1	14,2	10,4	11,1
8-9	3,6	3,7	4,3	5,4	6,2	4,9	2,8	3,3	4,2	4,6	5,8	3,1	4,3
10-11	0,6	0,3	0,2	0,4	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
12-13	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
14-15		0,1	0,1			0,2							0,0
16-17					0,1					0,1			0,0

На рисунке 2 представлено распределение времени, в течение двух месяцев наблюдений, по различным градациям скорости ветра для региона, где расположено рассматриваемое предприятие в Астраханской области за период с 2020 по 2023 год.

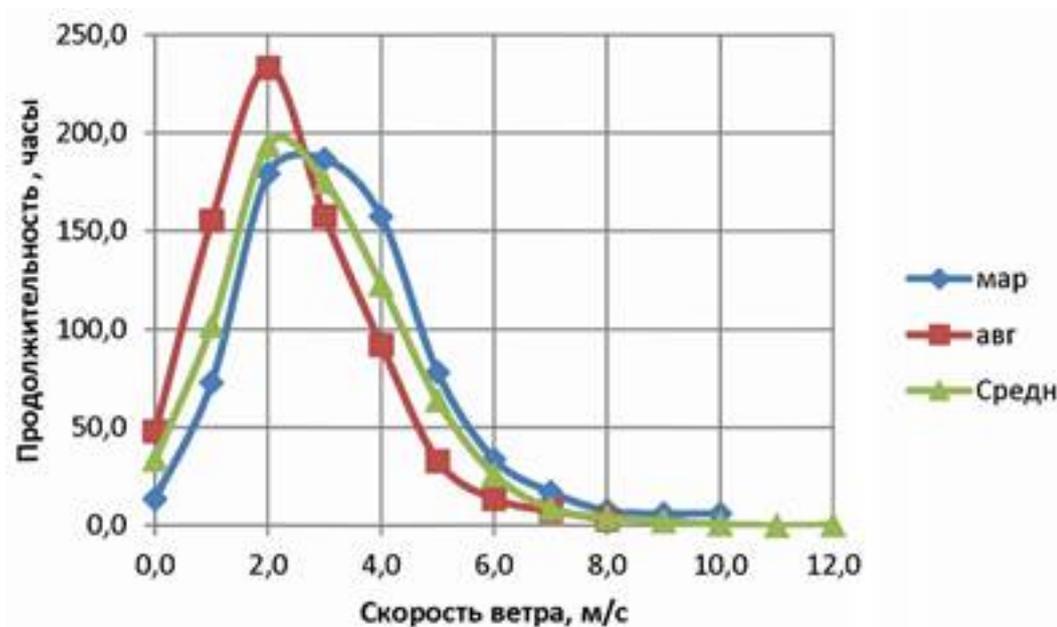


Рисунок 2. График распределения продолжительности градаций скорости ветра

На рисунке 3 представлен годовой график электропотребления небольшого промышленного предприятия в Астраханской области. Для надежного обеспечения электроэнергией таких потребителей требуется простой, надежный, экономичный и гибкий источник электропитания, способный адаптироваться к широкому диапазону установленных мощностей.

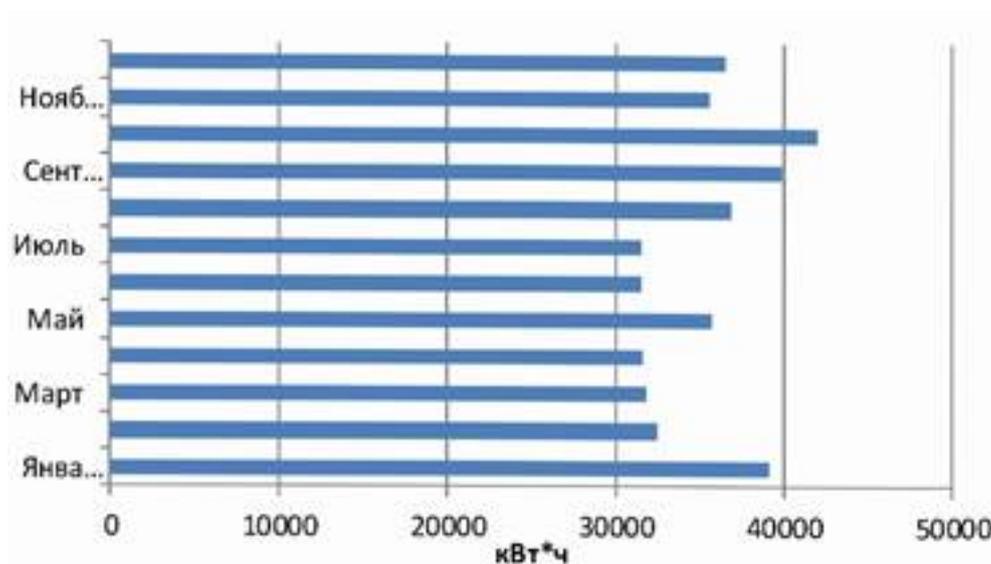


Рисунок 3. Годовой график электрических нагрузок объекта автономного электроснабжения

Согласно общепринятым рекомендациям для применения ветроустановок малой и средней мощности, среднегодовая скорость ветра не должна опускаться ниже 4 м/с. Однако, для более обоснованных выводов, учитывая распространение ветрогенераторов с низкими рабочими скоростями ветра и стоимость локальной дизельной генерации, необходимо провести экономический анализ. Важно отметить, что в автономных системах электроснабжения ветроэнергетика может быть эффективной даже при более низких скоростях ветра, возможно,

3 м/с является нижним пределом среднегодовой скорости ветра, при котором данное решение остается экономически обоснованным.

Основной характеристикой ветропотенциала, влияющей на решение о целесообразности строительства ветроэлектростанции и предварительный выбор ветрогенератора, является среднегодовая скорость ветра (V_{cp}).

Связь между электрической мощностью, которую может генерировать ветрогенератор, и скоростью ветра устанавливается известным математическим соотношением

$$P_{эл} = \xi \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot V_{ch}^2 \cdot \eta, \quad (1)$$

где ξ - коэффициент использования энергии ветра (для быстроходных ветротурбин в номинальном режиме достигает своего максимума? x_{max}); R - радиус ротора ветротурбины [м]; ρ - плотность воздуха (при нормальных условиях $\rho = 1,2041$ кг/м³); V_{cp} - среднегодовая скорость ветра [м/с]; η - КПД электромеханического преобразователя энергии ($\eta = 0,7 - 0,9$).

Основываясь на предполагаемом объеме генерируемой энергии и среднегодовой скорости ветра, можно предварительно выбрать подходящие варианты ветрогенераторов, доступных на рынке.

Характеристики для ветрогенератора выбранного для рассматриваемого предприятия в Астраханской области - CondorAir мощностью 60 кВт при скорости ветра 7,5 м/с и стартовой скоростью ветра 2,5 м/с приведен на рисунке 4.

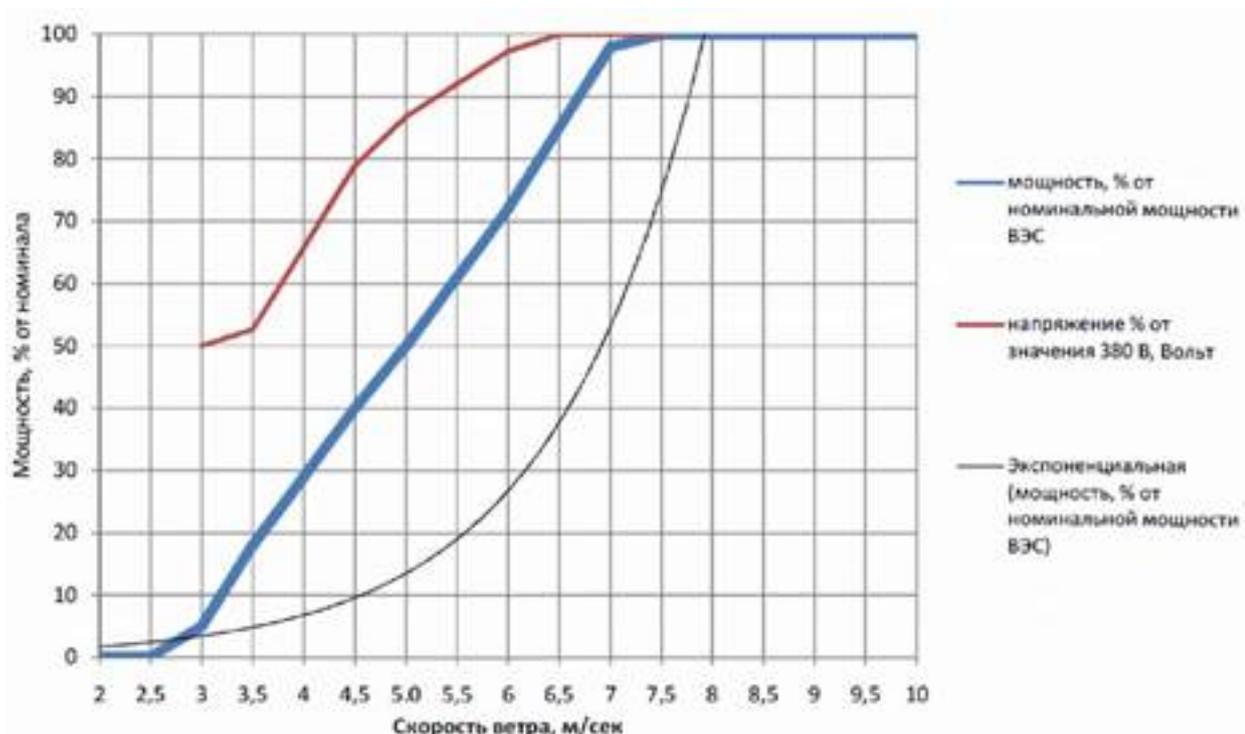


Рисунок 4. Мощностная характеристика ветрогенератора

Понятно, что в регионе с невысоким потенциалом ветроэнергии важно разработать оптимальную установленную мощность ветроэлектростанции. Эта мощность должна быть настроена на максимальное использование ветра и должна основываться на данных о производительности проектируемой гибридной системы электроснабжения. Процесс определения генерируемой электроэнергии ветрогенератором в автономной системе электроснабжения для учета ветровых условий и потребления энергии на объекте представлен на рисунке 5.

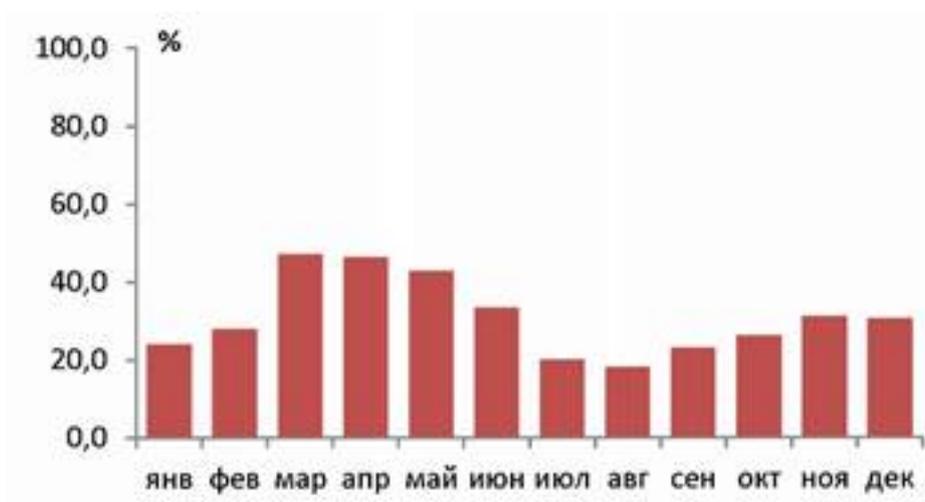


Рисунок 5. Покрытие нагрузки поселка ветрогенератором

Как видно из графика на рисунке 6, выбранный ветрогенератор в наиболее ветреные месяцы способен обеспечить лишь до 50% энергопотребности объекта. Увеличение установленной мощности ветровой части гибридной энергосистемы может повысить выработку

электроэнергии, что приведет к большей экономии дизельного топлива. Однако, при этом, следует учесть увеличение стоимости оборудования станции.

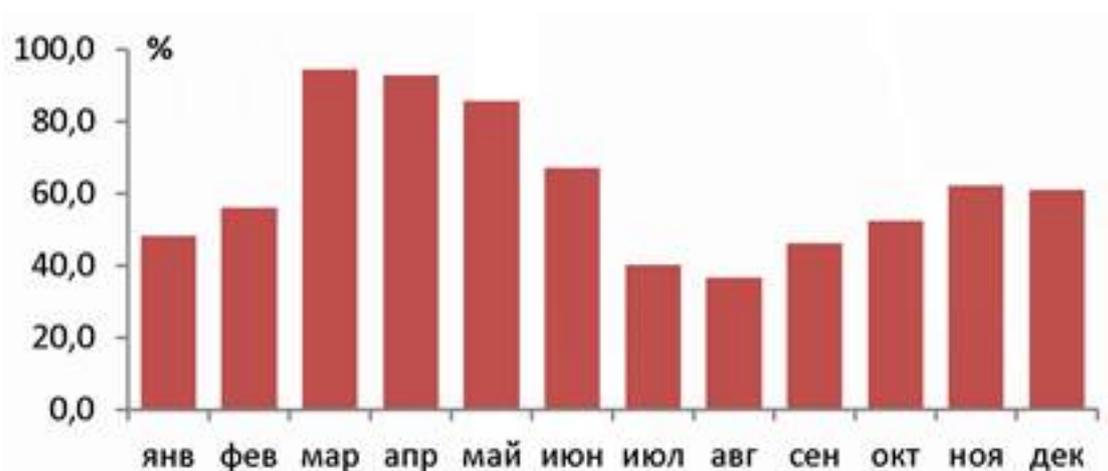


Рисунок 6. Покрытие нагрузки двумя ветрогенераторами

Если для рассматриваемого объекта использовать два ветровых генератора, то среднее значение покрытия электропотребности составляет 61%. Минимальное значение, равное 36,4%, отмечается в августе, в то время как максимальное достигает 94,5% в марте. Окончательное определение соотношения мощностей ветроэлектростанции и дизельной электростанции, основанное на энергетическом балансе, подкреплено экономическими расчетами.

Энергетический баланс гибридной системы электроснабжения для ветровых условий рассматриваемого объекта и ветрогенераторов показан в таблице 2.

Таблицы 2

Энергетический баланс гибридной электростанции для рассматриваемого объекта

Месяц	$W_{\text{потр}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$3 \text{ ВГ } 7\text{кВт } W_{\text{вэс}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$DW, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$
Январь	4092	3000	-1092
Февраль	2307	3500	1193
Март	5160	5200	40
Апрель	3361	3500	139
Май	2837	3000	163
Июнь	2211	2000	-211
Июль	2954	1800	-1154
Август	2559	1400	-1159
Сентябрь	2606	2400	-206
Октябрь	2942	3500	558
Ноябрь	2515	3500	985
Декабрь	3533	3500	-33
Итого:	37077	36300	-3855

Из таблицы 2 видно, что три ветрогенератора покрывают почти 90% потребности рассматриваемого объекта в электроэнергии. При этом избыток ветровой энергии невелик, составляя около 10% годового потребления рассматриваемого объекта.

Результаты экономических расчетов [2] для данной гибридной электростанции следующие:

1. Расчетный коэффициент эффективности капитальных затрат (E_p):

$$E_p \approx 0,13 \text{ (в долях единицы)}$$

Этот коэффициент показывает, что каждый рубль капитальных вложений приносит примерно 0,13 рубля дополнительной прибыли.

2. Срок окупаемости капитальных вложений ($T_{ок}$):

$$T_{ок} \approx 7,69 \text{ лет (округлено до 8 лет)}$$

Этот показатель указывает, что капитальные вложения окупятся примерно через 8 лет благодаря экономии, достигнутой в результате внедрения технического решения.

3. Коэффициент эффективности составляет:

$$E_n = 1 / 12 \approx 0,083.$$

Поскольку расчетный коэффициент эффективности капитальных затрат ($E_p \approx 0,13$) больше нормативного значения ($E_n \approx 0,083$), это свидетельствует о том, что внедрение данного проекта является экономически целесообразным.

Расчеты показали экономическую целесообразность внедрения вертикальных ветрогенераторов в данном регионе. Срок окупаемости и расчетный коэффициент эффективности указывают на то, что инвестиции в данное техническое решение оправданы.

Исходя из всего выше сказанного, ветроэнергетика, в частности, вертикальные ветрогенераторы, имеют большой потенциал для развития в регионах с хорошим ветровым ресурсом, включая Астраханскую область. Эти системы могут способствовать диверсификации источников энергии и уменьшению зависимости от традиционных источников.

Список литературы:

1. Хилько В. А. Некоторые показатели эксплуатации ветродизельной электростанции// Альтернативная энергетика и экология. 2012. Вып., 07. С. 133-136.
2. Николаев В.Г. Методология ресурсного и технико-экономического обоснования использования ветроэнергетических установок / Диссертация. Москва: ВИЭСХ, 2012.
3. 26. Дзензерский В. А. Ветроустановки малой мощности / В. А. Дзензерский, С. В. Тарасов, И. Ю. Костюков. - К.: Наук. думка, 2011. - 592 с.