

# Ветро-солнечная станция для электроснабжения отдалённых горных территорий

КОКАЕВ В.В., МБУДО ЦРСД «Альгаир» (Беслан, Северная Осетия, Россия)

**Аннотация.** Рассматривается возможность обеспечения автономной ветро-солнечной электроэнергией отдалённых горных территорий. Дано обоснование основных параметров кинематической схемы ветроагрегата. Предлагается рациональная электрическая схема ветро-солнечной станции. Дано обоснование использования теплового насоса «воздух – воздух» для обогрева помещения.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, солнечная энергия, генерация.

В связи с ростом цен на энергоносители всё большее внимание уделяется использованию альтернативных источников энергии — ветровой, солнечной, гидравлической. Перспективным направлением развития возобновляемой энергетики является совместное использование ветровой и солнечной энергии. Такие системы могут применяться как в местах, где отсутствует сетевая энергия, так и в качестве резервного источника электроэнергии. Установки даже небольшой мощности позволяют обеспечить быт для людей, проживающих в отдалённых горных территориях.

Ветроустановки мощностью от 0,1 до 2 кВт вполне себя оправдывают даже в режиме периодического применения, а низкая цена делает целесообразным их использование в качестве дополнительного источника энергии. Особенно выгодно применение малых ВЭС в автономных системах электроснабжения совместно с солнечными батареями.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА ВЕТРОАГРЕГАТА

Электрическим машинам различного принципа действия свойственна единая природа электромагнитных и энергетических процессов, возникающих при взаимодействии проводника и магнитного поля. В процессе работы электрической машины в режиме генератора происходит преобразование механической энергии в электрическую. Природа этого процесса объясняется законом электромагнитной индукции: если внешней силой  $F$  воздействовать на помещённый в магнитное поле проводник и перемещать его перпендикулярно вектору магнитной индукции  $B$  магнит-

ного поля (рис. 1), то в проводнике наводится электродвижущая сила (ЭДС):

$$E = B \cdot l \cdot v, \quad (1)$$

где:  $E$  — ЭДС, индуцируемая в проводнике [вольт],  $B$  — магнитная индукция [тесла],  $l$  — активная длина проводника, т.е. длина его части, находящейся в магнитном поле [метр],  $v$  — скорость движения проводника [м/с].

Из формулы (1) видно, что чем больше линейная скорость перемещения проводника в магнитном поле, тем больше ЭДС.

Во вращающихся электрических машинах линейная скорость перемещения магнитного поля зависит от частоты вращения индуктора и от диаметра вра-

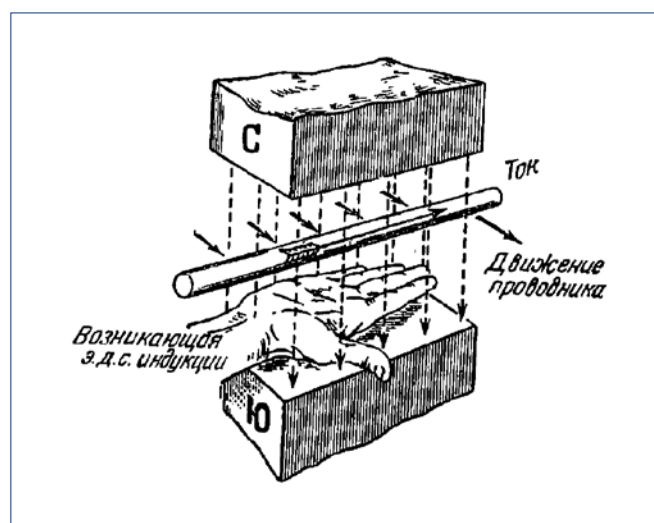


Рис. 1. ЭДС индукции, возникающая в проводнике, движущемся в магнитном поле

Таблица 1. Зависимость частот вращения трёхлопастных ветротурбин для различных диаметров ветротурбин при скорости ветра 5 м/с

Диаметр ветротурбины, мм	1200	1500	1700	2300	3200	13000
Частота вращения, об/мин	440	320	230	210	150	35

Таблица 2. Возможные варианты использования разных типов электрических генераторов

Тип и марка электрогенератора	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Габариты, мм	Масса, кг
Электрогенератор постоянного тока П11М	0,55	0–1000	$h = 360$ $l = 400$ $D = 300$	17–20
Асинхронный генератор 5АИ	0,75–1,0	680	—	21–23
Синхронный генератор с постоянными магнитами (мотор — колесо)	0,5	600	$h = 100$ $D = 240$	5
Синхронный генератор с постоянными магнитами	0,6	800	$h = 110$ $D = 150$	3

щающейся части электрической машины. Чем выше частота вращения, тем выше линейная скорость магнитного поля. Чем больше диаметр, тем больше линейная скорость поля, а следовательно, больше ЭДС.

В расчётной таблице 1 приведены оптимальные частоты вращения ветротурбин при различных диаметрах. В частности, представлены расчётные данные для трёхлопастных турбин, как наиболее часто применяемых, для скорости ветра 5 м/с.

Из таблицы 1 видно, что с увеличением диаметра ветротурбины рабочая частота вращения уменьшается. В связи с этим возникает необходимость согласования частоты вращения турбины и электрогенератора. Электрогенераторы (таблица 2) имеют сравнительно высокие частоты вращения, поэтому возникает необходимость согласования частот вращения ветротурбины и электрогенератора. Применение редуцирования с передаточным отношением более  $i = 10$  нецелесообразно, так как КПД такого мультипликатора будет очень низким, что увеличивает потери мощности. Поэтому необходимо, чтобы электрогенератор имел возможно меньшую рабочую частоту вращения.

Серийно выпускаемые ветроагрегаты малой мощности не соответствуют заявляемым в техническом паспорте параметрам [2]. В частности, это относится к изделиям китайского производства: рабочая частота вращения ветротурбины бывает меньше регламентируемой. Поэтому генератор остаётся недогружённым по мощности. Выдаваемая мощность бывает раза в 4 меньше заявляемой. В паспорте на изделие указываются выдаваемые мощности для скорости ветра 10 м/с и более, хотя такие скорости — большая редкость во всех регионах России.

## ВЕТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ДОМА

Предлагается следующая кинематическая схема ветрогенератора (рис. 2). По этой схеме вращение на генератор передаётся от ветротурбины через повышающий цепной трёхступенчатый редуктор с передаточным отношением 3:1 (приложение 1).

Проведены исследования предлагаемого варианта компоновки ветрогенератора (приложение 2). В таблице 3 представлены технические характеристики разработанного ветроагрегата.

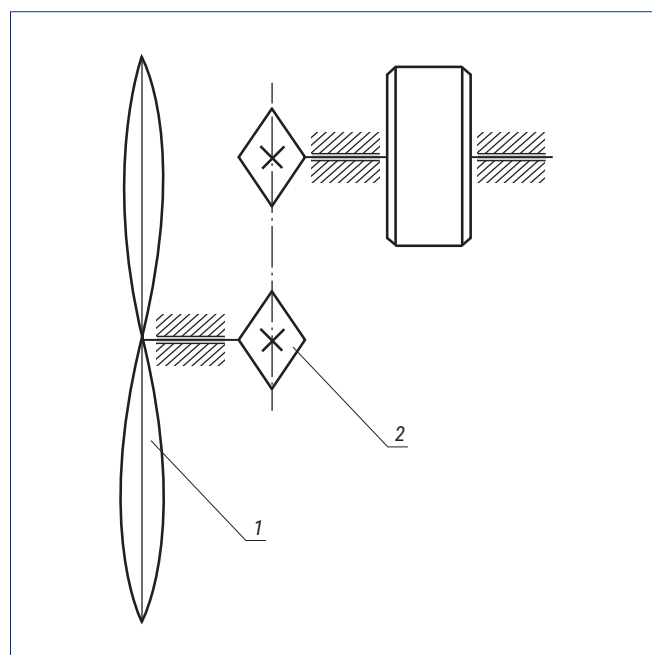


Рис. 2. Кинематическая схема привода ветрогенератора  
1 — ветроколесо, 2 — цепная повышающая передача

Таблица 3. Технические характеристики ветроагрегата

Особенности конструкции	Привод генератора от ветротурбины через повышающий редуктор
Выработка, кВт·ч в месяц	100, при среднегодовой скорости ветра 3 м/с
<b>Основные технические параметры</b>	
Мощность генератора, кВт	0,5, номинальная
Выходное напряжение генератора, В	36, постоянное
Рабочий диапазон скоростей ветра, м/с	2,5–15
Расчётная скорость ветра при номинальной мощности, м/с	6
Система ориентации	Пассивная с хвостовой лопаткой
Диаметр ветроколеса, м	3
Высота мачты, м	7
Количество лопаток	3
Частота вращения ветротурбины при номинальной мощности, об/мин	150
Характеристика зависимости мощности от скорости ветра	6 м/с — 0,5 кВт 8 м/с — 1 кВт
Шумовая характеристика	45 дБ на удалении 50 м при номинальной мощности

Для анализа выработки электроэнергии удобна мощностная характеристика ВЭС, связывающая электрическую мощность со скоростью ветра (рис. 3). По этой характеристике не представляет трудности графическое определение мощности ветрогенератора для любой скорости ветра.

При известном распределении скоростей ветра по градациям  $V_i$  возможную выработку электроэнергии ветрогенератора за определённый промежуток времени можно определить как:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i,$$

где  $P_i$  — средняя мощность, соответствующая  $i$ -градации скорости ветра [кВт],  $t_i$  — продолжительность данной градации за рассматриваемый временной интервал (обычно месяц) [час],  $n$  — количество градаций.

Следует отметить, что не все производители приводят мощностные характеристики своих ветрогенераторов. В этом случае можно рекомендовать линейную аппроксимацию этих характеристик по двум точкам:

- 1) стартовая скорость ветра и нулевая мощность;
- 2) номинальные скорость и мощность ветрогенератора.

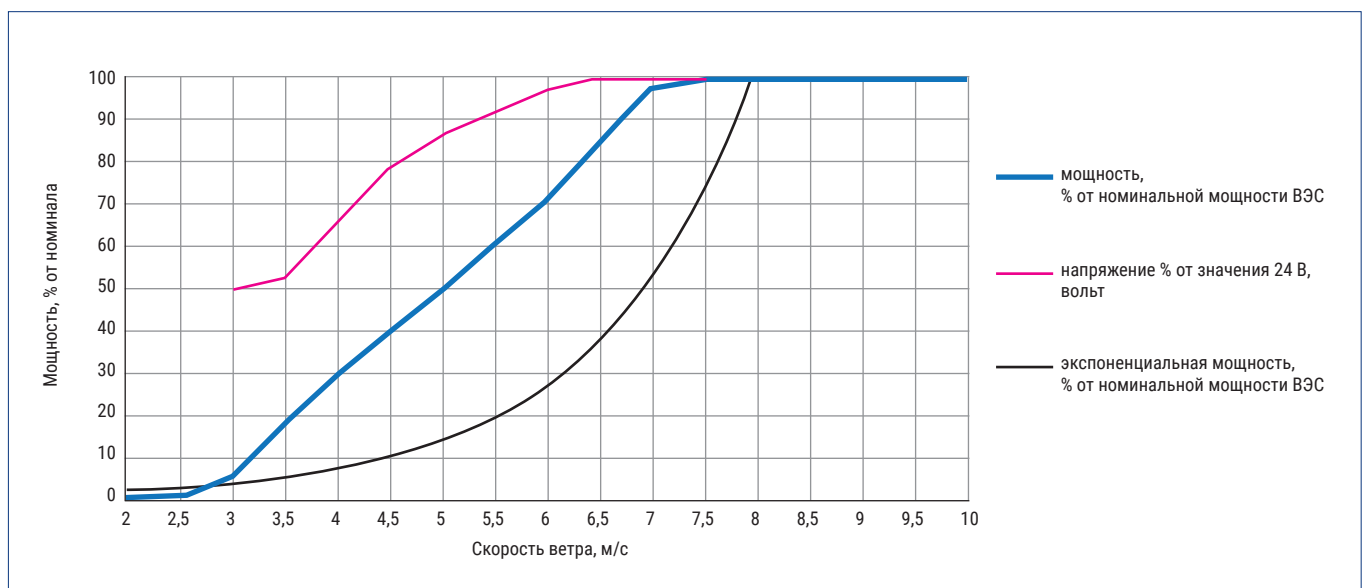


Рис. 3. Мощностная характеристика ветрогенератора

## ВЕТРО-СОЛНЕЧНАЯ СТАНЦИЯ

Принцип работы:

1. Выработка электроэнергии ветрогенератором;
2. Выработка электроэнергии солнечным модулем;
3. Накопление электроэнергии;
4. Выработанная электроэнергия через зарядные устройства заряжает аккумуляторную станцию;
5. Преобразование электроэнергии. От аккумуляторной станции запитан инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный (220 В/50 Гц).

В данной схеме (рис. 4) нагрузка через автономный инвертор питается от аккумуляторной батареи. Для обеспечения эффективного режима работы оборудования рассматриваемого энергетического комплекса устанавливается гибридная интеллектуальная система управления его элементами. В связи с существенными суточными изменениями потенциала ветра и солнечного излучения, которые обычно не соответствуют сезонным суточным изменениям графиков электропотребления, электроснабжение децентрализованных объектов только от возобновляемых источников может в пиковые моменты нагрузки быть недостаточным, поэтому предполагается при наличии централизованной сети часть нагрузки брать из сети. Проведены испытания солнечной станции.

## СХЕМА ОБОГРЕВА ДОМА

Обогрев жилого дома при наличии автономной микроэлектростанции целесообразно осуществлять с использованием теплового насоса. Чтобы выбрать мощность теплового насоса, необходимо знать климатические характеристики. Для города Беслан температура холодной пятидневки составляет  $-5^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура отопительного сезона  $-0^{\circ}\text{C}$ . Температура ниже  $0^{\circ}\text{C}$  наблюдается не более 20% холодного периода года. Поэтому, по нашему мнению, теплотери необходимо рассчитывать на  $0^{\circ}\text{C}$ . В периоды снижения наружной температуры ниже  $0^{\circ}\text{C}$  недостающую мощность нужно обеспечивать другими источниками тепла, в нашем случае — электрообогреваемым полом. Такая схема позволяет установить тепловой насос меньшей мощности и существенно экономить на стоимости самого насоса и затрат на его установку.

В работе проведены анализ возможных вариантов тепловых насосов для подогрева жилого дома. Анализ показал, что наиболее эффективно в качестве основного использовать тепловой насос типа «воздух — воздух». Применение данного типа оборудования имеет целый ряд существенных преимуществ:

1. Позволяет экономить до 80% электроэнергии на отоплении. Потребляя 1 кВт электроэнергии,

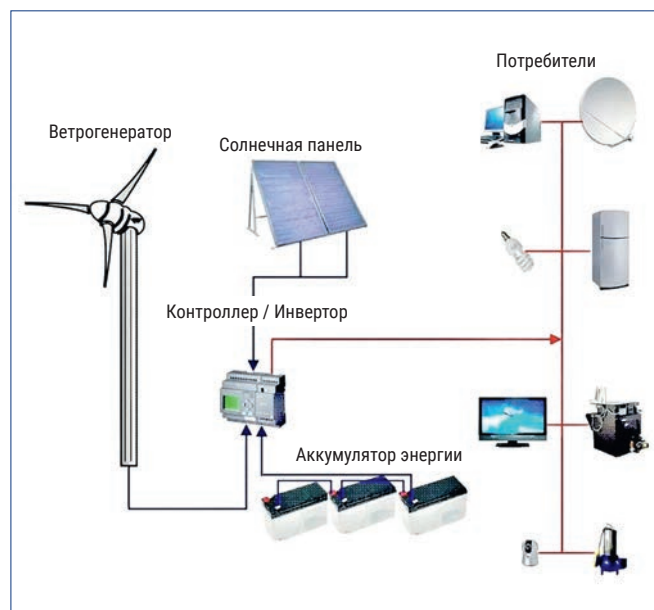


Рис. 4. Ветро-солнечная станция

он переносит из окружающей среды в помещение до 5 кВт тепла.

2. Способен эффективно работать даже в морозы до  $-30^{\circ}\text{C}$ .
3. Летом выполняет функции кондиционера (принцип «два в одном»).
4. Не требует дополнительных инженерных коммуникаций, земляных и строительных работ, разрешений и согласований.
5. Экологичный и безопасный, без выбросов в атмосферу.
6. Быстрый монтаж и минимум неудобств.
7. Относительно доступная цена.

К дополнительным «фишкам» можно отнести:

1. Наличие встроенного Wi-Fi-модуля, который позволяет управлять насосом на расстоянии.
2. Функция снижения температуры до уровня  $+2...+10^{\circ}\text{C}$ , не допуская при этом вымерзания. Эти опции очень актуальны для дачного дома.

По каталогу «Тепловые насосы типа «воздух — воздух»» выбран ближайший по мощности тепловой насос DaichiSIB25AQS1R/SIB25FVS1R, управление мощностью — инвертор, мощность охлаждения — 2,7 кВт, мощность обогрева — 3,0 кВт, потребляемая из сети мощность — 0,7 кВт.

## ВЫВОДЫ

1. Ветроэлектрические установки не нашли широкого применения из-за ряда причин.
2. Установки выпускаются на усреднённые показатели, тогда как эти показатели значительно отличаются друг от друга.

3. Необходимо разработать типовой ряд ветро-агрегатов, более дешёвых и простых по конструктивному устройству.

4. Применение гибридных ветро-солнечных установок повышает эффективность их использования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://e-veterok.ru/samodelnie-lopasti-vetrogenerator.php>.
2. Заруцкий В.М., Каргиев М.Г. Анализ существующих электрических ветроустановок. Владикавказ. Научные труды вольного экономического общества России, Владикавказский научный центр РАН. 2021.
3. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины, ч. 11. Л., Энергия. 1965, с. 704
4. Торопцев Н.О. Асинхронные генераторы автономных систем. М., Знак. 1996, с. 288.
5. Ветроэнергетика. Под ред. Д. де Рензо. Перевод с английского. М., Энергоатомиздат. 1982, 272 с.
6. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. М., Энергоатомиздат. 1990, 392 с.
7. Хузмиев И.К. Возобновляемые источники энергии — основа органического аграрного производства. Материалы всероссийской конференции. Том 1, часть 1, ГГАУ. 2017, с. 343–344.
8. Да Роза А.В. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. Энергоатомиздат. 2-е изд. Пер. с англ. 2014. 704 с.
9. Бурмистров А.А., Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В. и др. Методы расчёта ресурсов возобновляемых источников энергии. Учебное пособие. 2-е изд. М.: изд. дом МЭИ. 2009. 144 с.

## Wind and solar power plant for power supply remote mountain areas

KOKAEV V.V., MBUDO CRSD «Altair» (Beslan, North Ossetia, Russia)

**Annotation.** The possibility of providing autonomous wind-solar electricity to remote mountain areas is being considered. The rationale for the main parameters of the kinematic diagram of the wind turbine is given. A rational electrical circuit for a wind solar station is proposed. A rationale for using an air-to-air heat pump to heat a room is given.

**Keywords:** wind power, solar energy, generation.

