

# Гибридные ветро-солнечные системы для автономного и резервного энергообеспечения

**Возобновляемая энергетика — бурно развивающаяся отрасль мировой экономики. Если рассматривать возобновляемую энергетiku по отдельным ее видам, то самой коммерциализированной считается ветроэнергетика — ее доля уже ощутима в общем энергобалансе многих развитых стран. Даже в Украине суммарная установленная мощность сетевых ветрогенераторов составляет 86 МВт.**



Renewed power is rapid developing branch of economic. If to consider renewed power by its separate kinds, that wind power engineering is considered as the most commoditized one - its share is already notable in the general power balance of many developed countries. Even in Ukraine the gross installed capacity of wind power generators makes 86 MW.

Законов, регулирующих сферу возобновляемой энергетики, принято в Украине достаточно много, однако все они носят декларативный или рекомендательный характер и относятся к так называемой «большой» ветроэнергетике, работающей на общую энергосистему. Заметим, кстати, что определения «большая» и «малая» применительно к ветроэнергетике не совсем корректны, правильнее говорить о «сетевых» и «автономных» системах.

Ветроэнергетические установки (ВЭУ), которые работают в автономном и резервном режимах (они же «малые»), составляют отдельную группу, прежде всего, для потребителей. Развитие этой группы способствует децентрализации электросети Украины, повышению энергетической безопасности, ее применение является экономически обоснованным решением для отдаленных (например, островных, горных) и неразвитых, с точки зрения локальных сетей (например, коттеджная застройка вблизи больших городов), территорий. К малой ветроэнергетике относятся агрегаты мощностью до 50 кВт, эта категория включает ветрогенераторы, предназначенные для энергоснабжения индивидуальных и коммерческих пользователей, для которых могут быть актуальны следующие проблемы с электричеством:

- отсутствие централизованного энергоснабжения;
- частые веерные отключения и низкое качество параметров энергосети;
- желание снизить затраты на электроэнергию.

Для установок, работающих в автономном/резервном режи-

мах, законодательно, на государственном уровне не узаконены ни вопросы финансирования, ни вопросы льготного налогообложения (хотя в Законе «О энергосбережении» 1994 года говорится о льготах как для производителей, так и для пользователей энергией, добываемой из нетрадиционных источников). По сегодняшний день для них нет ни подзаконных актов, ни нормативного обеспечения.

Рассмотрим, в чем состоит преимущество электроснабжения с помощью ВЭУ и/или фотобатарей (ФБ). Например, прокладка линий электропередач (ЛЭП) предусматривает выполнение проектных работ, включая разработку технических условий на подключение, приобретение и снабжение всего оборудования (трансформаторная подстанция, столбы, провода, счетчики и т. д.), а также строительно-монтажных и пусконаладочных работ. В результате километр такой воздушной

ЛЭП обойдется потребителю более 80000 гривен за 1 км, а со временем и больше, если принять во внимание вероятность вреда, который могут причинить вандалы.

Электрические сети в Украине являются слабыми с точки зрения мощностей и зачастую качества для конечных потребителей, то есть существует определенный лимит, который может предоставить энергокомпания в определенный, а особенно, удаленный пункт. Нет осознанно-планируемого развития в прокладке новых линий с большой мощностью. А так как в стране идет возрастающее по объемам строительство частного и коммерческого секторов, в том числе коттеджное, потребители энергии начинают понимать, что автономные энергонезависимые источники являются тем фактором, который позволит со временем без проблем смотреть, как минимум, телепередачу о повышении цены на электроэнергию (при ее низком качестве и с возможными перебоями). Потребитель понимает, что теперь ему нет никакого дела до изменения цены на энергоносители, потому что у него есть свой источник энергии.

На первый взгляд, энергоснабжение от бензиновых и дизельных электростанций стоит дешевле, чем ВЭУ. Однако оно связано со значительным эксплуатационными затратами и проблемами с доставкой и хранением топлива. При этом ВЭУ выгодно отличаются от традиционных энергогенерирующих установок, работа которых базируется на использовании двигателей внутреннего сгорания (ДВС), прежде всего, с точки зрения:



- экологии — в атмосферу не выбрасываются вредные вещества;
- комфортности — шум от работы ВЭУ значительно ниже, чем от ДВС;
- эксплуатации и технического обслуживания — отпадает потребность в постоянном обеспечении топливом, а также в постоянной замене масла и фильтров;
- мгновенное (до 20 м/сек) переключение при пропадании сети.

Конкретный пример окупаемости сроком менее 2 лет демонстрирует система энергообеспечения острова Тендровская Коса, где три ветрогенератора и девять солнечных фотоэлектрических панелей смогли заменить выработку электроэнергии, ранее производимую двумя дизельными генераторами.

Раньше ситуация была такой: два дизельных агрегата обеспечивали электроэнергией маяк и проживание двух семей. Солярку для этого дизельного генератора возили на барже. Сама баржа потребляет около 50 литров солярки в час, а везти — около трех часов. После того, как было установлено 3 ветрогенератора и 9 фотопанелей, экономия солярки достигла почти 90%. Был также подтвержден интересный факт: генерирование энергии от ветра в 5 раз дешевле, чем от солнечной. Так как этому объекту уже более 5 лет, то сейчас можно сделать ту же работу на совершенно иной технологической базе, и с новыми техническими решениями. На острове Тендровская коса фактически заменена одна дизельная станция, вторую оставили для аварийного резерва. В результате только в прямом экономическом сравнении установленные системы уже являются безусловной альтернативой.

Другой пример. Стоимость системы с использованием энергии ветра и солнца для автономного энергообеспечения электрической энергией частного дома, расположенного в Киевской области (Обуховский район), была более конкурентной, чем стоимость установки традиционной ЛЭП (технические условия, проект, прокладка линии электропередач) при расстоянии до существующей линии менее 400 метров.

Поскольку один и тот же источник возобновляемой энергии (например, солнца) можно преобразовать в различные виды используемой энергии — тепловую или электрическую, то вначале необходимо определиться с потенциалом каждого источника возобновляемой энергии в конкретном регионе, а также с конечными

потребностями для уменьшения преобразований из одного вида в другой, потерь при хранении (аккумуляции); доставки и распределения энергии.

Для каждого региона и для каждого источника возобновляемой энергии уже определены общие и, главное, технически достижимые потенциалы. Эта работа проделана Институтом возобновляемой энергетики НАН Украины и может, конечно же, быть детализирована для любого уровня по региону или привязана к технологии.

Конкретные измерения и соответствующий анализ для рационального использования можно произвести только при указании особенностей (климатических, ландшафтных) местности, источника энергии и, конечно же, ее использования с учетом имеющихся технологий и оборудования.

Но прежде чем говорить об устройстве, принципах установки и функционирования ВЭУ и ФБ (фотобатарей), стоит обратить внимание на три основные величины, которые имеют решающее значение при выборе элементов системы.

1). Выходная мощность ( $P$ , кВт) определяется только мощностью преобразователя и не зависит от скорости ветра и освещенности ФМ, емкости АБ (аккумуляторной батареи);

2). Время непрерывной работы ( $t$ , час) при отсутствии ветра/солнца определяется только емкостью АБ (А·ч) и зависит от величины и характера нагрузки и режимов работы. Для примера, в 4-х полностью заряженных АБ емкостью 200 А·ч запасается 7–8 кВт·ч электроэнергии, что при постоянной нагрузке 1кВт обеспечивает непрерывную работу 7–8 часов;

3). Выработка электроэнергии ( $W$ , кВт·час) определяется реальным ветропотенциалом, высотой мачты, рельефом местности, солнечной освещенностью и расположением ФМ и обычно указывается за усредненный промежуток времени, например, месяц, т.к. дневная или, тем более, часовая выработка будет носить выборочный, случайный характер.

Так как одну и ту же задачу по мощности, выработке с различными вари-



антами резервирования можно решить различным набором элементов системы, то нужно определиться с понятиями (в количественном выражении):

1). Мощность преобразователя (это первое, что определяется потребителем, исходя из типа и режимов работы нагрузки).

2). Мощность генерирования в конкретных условиях эксплуатации.

В случае использования комплексных ветросолнечных систем предусматривается более плавное среднегодовое покрытие нагрузок, так как ветер доминирует в осенне-зимний период, а солнце — в весенне-летний, а также увеличение среднесуточной (среднемесячной) выработки энергии за счет увеличения вероятности одновременной работы двух независимых источников энергии. Таким образом, при работе двух источников с одним блоком управления и преобразования относительная стоимость системы в целом снижается и, как следствие, уменьшается удельная себестоимость выработки одного киловатт-часа электроэнергии. Это величины главные, но по физической сути — мгновенные, т.е. без увязки со временем.

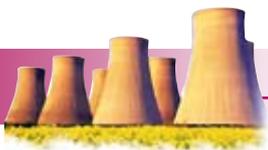
Следующие по порядку определения (выбора) величины являются более важными при расчете, особенно автономных систем:

3). Выработка (энергия генерирования).

4). Энергия резервирования (временной запас в аккумуляторных батареях с учетом мощности нагрузки).

Между величинами 1, 2, 3, 4 нет прямой связи, однако есть полученные опытным путем типовые системы или детально выбранный вместе с потребителем оптимальный вариант для конкретного использования в заданных режимах.

Как показывает практика, многие потребители путают понятия «мощность оборудования», которое из-



меряется в ваттах или киловаттах, и «производство электроэнергии этим оборудованием», которое равняется количеству произведенной энергии в единицу времени — Вт·час, кВт·час. Реальную стоимость имеют именно киловатт-часы, за которые потребитель платит деньги. Кроме того, опыт эксплуатации ВЭУ показал, что заказчики, как правило, не учитывают график распределения нагрузок на протяжении суток, а просто суммируют мощность потребителей в доме (электрооборудование и бытовая техника). Отсюда делается ошибочный вывод, что мощности системы с ВЭУ в 1,5 кВт недостаточно, хотя после расчетов, а особенно эксплуатации, становится очевидным, что месячное энергопотребление вполне покрывается возможностями стандартной ветроэнергетической установки, предназначенной для электроснабжения индивидуального дома и хозяйства.

Тем не менее, большинство потребителей электрической энергии могут использовать переменный ток с напряжением несинусоидальной формы. Причем, в зависимости от оборудования, наибольшее значение могут иметь разные характеристики тока. Например, оборудование, оснащенное импульсными блоками питания (например, персональные компьютеры) потребляет ток только в моменты времени, когда напряжение очень близко к максимуму. Потому для питания такого оборудования важно правильное амплитудное значение напряжения. Оборудование, имеющее непосредственно питаемые электрические двигатели и нагреватели, требует номинального действующего значения напряжения. Синусоидальное напряжение отвечает требованиям любой из этих нагрузок.

Чтобы правильно подобрать необходимую мощность систем с ВЭУ и ФБ, необходимо понять основные различия между выработанной энергией, потребляемой и аккумулируемой как резерв. При использовании генераторов электрического тока, работающих от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), качество получаемого тока не позволяет использовать его в стандартном оборудовании непосредственно и требует промежуточного преобразования в ток со стандартными характеристиками. Основной проблемой, при использовании ветро- и фотогенераторов является нестабильность полу-

чаемой энергии, которая сильно зависит от текущих погодных условий, положения солнца. В автономных конфигурациях возникает проблема обеспечения резерва мощности при изменении потребляемой энергии (например, пусковые токи электрических двигателей). В качестве компенсирующего источника энергии можно использовать источник бесперебойного питания (ИБП) в комбинации с достаточно емким комплексом аккумуляторов (рис. 1).

ИБП является одной из основных частей блока управления и преобразования от ВИЭ. Ток, получаемый от генераторов возобновляемой энергии, отличается нестабильностью параметров и, в большинстве случаев, является непригодным для непосредственного использования. Применение ИБП в блоке управления преобразованием позволяет улучшить характеристики получаемого тока до уровня, приемлемого для большинства бытовых потребителей.

Следует обратить внимание на то, что стандартные ИБП предназначены для преобразования тока, получаемого из обычной бытовой сети переменного тока, в то время как генераторы от ВИЭ (особенно, солнечные батареи), генерируют постоянный ток. Однако все ИБП, использующие аккумуляторные батареи в качестве хранилища электроэнергии, преобразуют переменный ток сети в постоянный для заряда аккумуляторов. Из-за этого возникает задача модификации стандартных ИБП для улучшения совместной работы с генераторами постоянного тока, что ограничит выбор типа ИБП до одного: ИБП с двойным преобразованием. Как вариант, постоянный ток, получаемый от генераторов возобновляемой энергии, перед подачей в ИБП можно преобразовывать в переменный, и уже переменный ток, вместо тока от бытовой электросети, подавать на ИБП. Та-

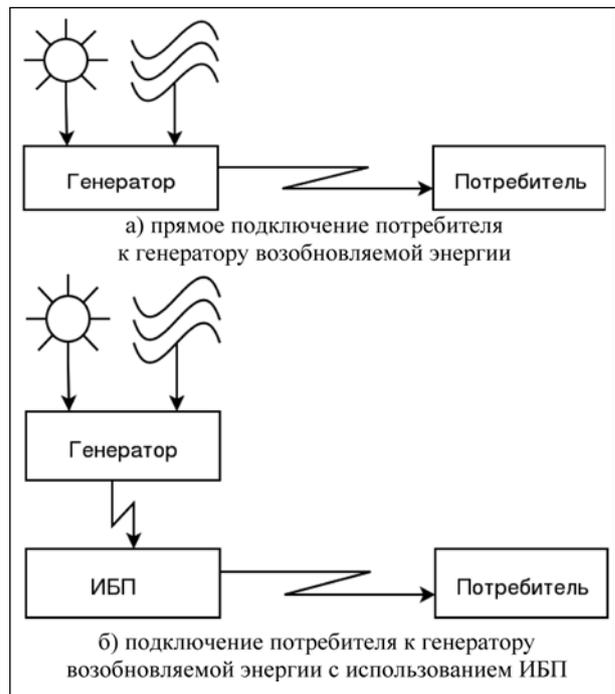


Рис. 1. Возможные варианты подключения потребителя к возобновляемым источникам энергии

кой вариант позволяет избавиться от описанного выше ограничения. ИБП необходимо согласовывать как с генератором возобновляемой энергии, так и с потребителем, поэтому необходимо рассмотреть характеристики ИБП с точки зрения связанных с ним устройств.

Рассмотренные характеристики ИБП играют важную роль при его выборе. Так как перечисленные характеристики имеют сильную зависимость от типа ИБП, то при выборе типа ИБП обязательно нужно учитывать особенности нагрузки (величина, характер, время переключения, пусковые, стартовые характеристики и т.д.). Также следует учитывать характеристики тока, получаемого от генератора возобновляемой энергии.

Например, производимая в Украине система с ВЭУ-08 мощностью 1,5 кВт способна выдавать в условиях Киевской области (далеко не самый благоприятный в отношении ветропотенциала регион Украины) летом до 100 кВт·час в месяц, а в зимне-весенний сезон — свыше 200 кВт·час, что соответствует энергопотреблению среднестатистической украинской семьей (100–300 кВт·час в месяц).

Для примера указана средняя выработка электроэнергии ветрогенератором ВЭУ-08 в Киеве (мачта 11 м), кВт·ч (см. таблицу).

Таблица. Средняя выработка электроэнергии ветрогенератором ВЭУ-08 в Киеве (мачта 11 м), кВт·ч												
Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
кВт·ч	190	215	230	195	155	110	100	85	105	140	155	170

В местностях, где наблюдается значительный ветропотенциал (например, в степи или на возвышенности), или при условии применения мачты большей высоты производство электроэнергии возрастает в 1,5–2 раза, причем шумовое влияние уменьшается.

Наряду с задачей согласования работы ИБП с ВИЭ и потребителем, существует задача согласования работы и управления генераторами возобновляемой энергии в электрических сетях. Задача усложняется для гетерогенных сетей, связывающих множество разнотипных генераторов и потребителей электрической энергии. На рис. 2 схематически показана конфигурация гетерогенной сети с множеством генераторов и потребителей электрической энергии. Поэтому наиболее рациональный способ функционирования и мониторинга в управлении подобными сетями, очевидно, будет основываться на принципах мультиагентных систем.

Используемый в Европе способ расширения применения и повышения привлекательности — так называемое «сетевое» использование тех же самых, даже малых ВЭУ. Вся «грязная» электроэнергия от генератора через реверсивный (двунаправленный) электрический счетчик и специальный прибор согласования частоты и напряжения подается в центральную сеть. Потребление учитывается этим же счетчиком из той же сети. Владелец ВЭУ платит за разницу: потребленная электроэнергия минус выработанная электроэнергия. Энергоснабжающие организации фактически покупают у владельца ВЭУ «ветровую» электроэнергию, причем,



по тарифам минимум в 2 раза выше, чем продают потребителям. Зачем? Во-первых, в комплексе с тепловыми и другими электростанциями ВЭУ повышают общую выработку энергии в сети, увеличивают надежность энергообеспечения и способствуют децентрализации сети. А во-вторых, в цивилизованной Европе стимулируется выработка

экологически чистой электроэнергии. Владелец ВЭУ ощущает реальную экономию на электроэнергии, потому что, с одной стороны, стоимость киловатт-часа в Европе значительно выше, чем у нас, а с другой стороны, ВЭУ без аккумуляторной станции и инвертора обходится значительно дешевле.

В Украине автономные и резервные энергосистемы менее развиты в государственном секторе экономики, что связано со следующими причинами:

- несовершенство правового, тарифного и технологического механизма особенно для 1-го случая подключения, что уже успешно реализовано в большинстве стран ЕС и США;
  - отсутствие экономических (финансовых, тарифных, налоговых) стимулирующих факторов, в первую очередь, для потребителей в 1-м и 2-м случаях подключения, которые реально способствовали развитию указанной группы ветро- и фото-энергетического оборудования в индустриально развитых странах.
- Кроме того, сдерживающими факторами развития гибридных систем являются:

- отсутствие у населения элементарных знаний о принципах использования энергии ветра и солнца, возможностях ветроустановок и ФБ;
- низкий технический уровень основного потребителя установок;
- отсутствие должным образом организованных элементов рынка потребителей и поставщиков;
- низкая покупательная способность потребителей и отсутствие финансовых механизмов стимулирования.

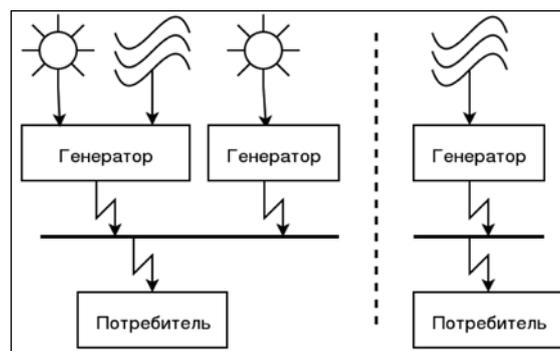


Рис. 2. Распределенная генерация электрической энергии

С точки зрения инвесторов, интересен мировой опыт, когда крупные транснациональные компании, наряду с торговлей своими традиционными бизнес-продуктами (нефть, бензин), являются и крупнейшими инвесторами в возобновляемую энергетику. Другими словами, диверсифицируют свой бизнес. Shell, например, инвестирует в R&D (научно-исследовательские работы), а BP — выпускает фотопанели.

Украинский рынок возобновляемых источников (на примере автономных и резервных ветроустановок) может развиваться для будущих инвесторов не с прихода классических VC (венчурных капиталистов), и даже не с бизнес-ангелов, а, скорее всего, в направлениях:

- диверсификации подразделений отечественного машиностроительного комплекса со сборкой, как пример, лицензионного оборудования;
- структурирования и разделения (для последующего «точечного» инвестирования) цепочки на отдельные бизнес-процессы:
  - разработка;
  - производство;
  - сбыт;
  - инжиниринг процессов для оптимизации прикладных решений;
  - инсталляция;
  - сервис.
- инвестирование в развитие дистрибутивной и сервисной сети мощного транснационального оператора.

Реальные достижения, в основном, частных фирм и, в первую очередь, для частных потребителей (как небольшое исключение — для государственных и коммунальных) указывают на экономическую целесообразность и техническую возможность развития автономных и резервных систем в Украине, которая не является исключением в аналогичных мировых тенденциях развития ВИЭ.

Ю. П. Фаворский