

О комплектовании базовых станций сотовой связи системами автономного электрообеспечения.

Миханюк В. Н., Коробко Б. П., Марончук И. Е., Кулюткина Т.Ф., Люшня А.А.

1. Современная организация, оборудование и технологии электрообеспечения базовых станций сотовой связи.

Сотовая связь стала одной из наиболее важных и весомых примет XXI века. По масштабам и темпам роста объёмов применения эта технология находится в числе мировых лидеров и, очевидно, что в обозримом будущем её развитие будет ещё долго оставаться таким же бурным. Основанием этому является дальнейшее увеличение мощности радиосигнала на станциях сотовой связи и повышение вследствие этого её качества и эффективности при неуклонном снижении издержек и цен на различные услуги связи для массового потребителя.

В то же время расширение масштабов сотовой связи ставит перед этой сферой новые задачи, для эффективного решения которых необходимо применить принципиально иные организационные и технологические подходы. В частности сейчас становится всё более очевидным, что в первую очередь это касается энергетического обеспечения станций сотовой связи. До сих пор наиболее интенсивное развитие сотовой связи происходило и происходит преимущественно в регионах с большой плотностью населения, высоко развитой инфраструктурой электрообеспечения и транспортной сетью. Здесь вопросы энергообеспечения базовых станций решаются очень просто - присоединением к электросети общего пользования. Но даже в этих регионах все чаще задача энергообеспечения базовых станций сотовой связи значительно усложняется значительной удалённостью их от ЛЭП и распределительных трансформаторных подстанций. В подобных случаях заказчики строительства базовых станций сотовой связи пока всё ещё ориентируются на подключение к электросетям общего пользования, хотя при этом приходится прокладывать низковольтные ЛЭП протяжённостью до 10-15 км и более. В Украине, Белоруссии и в европейской части РФ при этом значительного удорожания услуг сотовой связи пока ещё не происходит и, главным образом, из-за того, что тарифы на отпуск электрической энергии по политическим и социальным причинам здесь сильно занижены. Но в конце концов и, возможно, что это произойдёт довольно скоро, тарифы на электроэнергию и в этих странах достигнут уровня мировых и обязательно будут включать "полные" затраты на её генерирование. В таких случаях поставка электроэнергии маломощным потребителям по ЛЭП низкого напряжения станет для энергоснабжающих компаний убыточной, а вследствие этого они или немедленно прекратят энергоснабжение базовых станций сотовой связи, или же потребуют значительно более высокой оплаты электроэнергии.

Отметим, что в развитых странах, в частности в США, из-за больших потерь электроэнергии в низковольтных ЛЭП, а также из-за больших финансовых издержек на их сооружение и эксплуатацию, поставка электроэнергии из национальной энергосистемы маломощным потребителям для поставщика является убыточной, если протяжённость низковольтных ЛЭП превышает 4-7 км.

Строительство ЛЭП более высокого напряжения в этих случаях ведет к значительному увеличению объёмов капитальных и других финансовых затрат, а следовательно, росту убытков. Именно поэтому все удалённые фермерские хозяйства в США, например, вынуждены решать проблему электроснабжения своего хозяйства самостоятельно. В подобных случаях фермеры используют электрогенераторы: чаще дизельные, реже бензиновые. Себестоимость электрической энергии, произведенной маломощными электрогенераторами, как правило, превышает 0,25-0,30 долл./кВтччас, что в 3-4раза больше от величины тарифов на электроэнергию, отпускаемую из общенациональной энергосети. Такой дорогой энергии фермер много потреблять не может, иначе он очень скоро станет банкротом.

Подобные соображения в отношении электрообеспечения базовых станций систем сотовой связи на ближайшее будущее обязательно должны принимать во внимание заказчики строительства базовых станций сотовой связи, поскольку игнорирование или недооценка ими неизбежности удорожания энергоснабжения таких объектов может не только резко замедлить дальнейшее развитие этой отрасли, но и сделать её мало- или даже совершенно нерентабельной.

2. Предложения по совершенствованию организации, технологии и оборудованию для электрообеспечения базовых станций сотовой связи.

Сравнительный анализ себестоимости электроэнергии, производимой различными системами автономного энергообеспечения, приведенный в Отчёте о НИР «Маркетинговые исследования и определение основных технических решений и оборудования для использования возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения автономных потребителей», показал, что при нынешнем техническом уровне развития энергетических технологий, проблема обеспечения эффективного, надёжного и безубыточного автономного электроснабжения базовых станций сотовой связи, в общем-то, может быть успешно решена, причём, как в отношении качества и надёжности электрообеспечения, так и его экономической и экологической эффективности. Наиболее эффективными и перспективными системами автономного электроснабжения, как показано в упомянутом *Отчёте*, являются те, которые используют возобновляемые источники энергии (ветер, солнечное излучение, водостоки рек), когда можно создать системы энергообеспечения объектов с полностью автоматизированным "безлюдным" (без участия обслуживающего персонала) режимом их эксплуатации и с минимальными объемами сервисного обслуживания (в т. ч. текущих ремонтов), что очень важно для объектов в труднодоступных регионах, удалённых на большие расстояния от ЛЭП и населённых пунктов.

С учётом экономических соображений наилучшими вариантами автономных систем энергообеспечения являются микро- и миниГЭС, причём т. н. "рукавные" с водозабором сифонного типа. Такие ГЭС потребность базовых станций сотовой связи в электричестве способны обеспечить гарантировано и по наиболее низкой цене. Но, к сожалению, вероятность наличия подходящих водотоков, а, следовательно, и возможности сооружения микро- или миниГЭС в

районах позиционирования базовых станций сотовой связи, как правило, очень невелика и всё же заказчикам о возможностях ГЭС необходимо знать и помнить.

В качестве наиболее универсальных и перспективных систем автономного энергообеспечения станций сотовой связи для различных климатических зон Земли можно рассматривать комбинированные, в составе которых обязательно должны быть ветряные электрогенерирующие установки (ВЭУ), солнечные фотоэлектрические модули (СФЭМ) и аккумуляторные батареи (АБ). В редких отдельных случаях эти системы в качестве резервного источника генерации электричества могут комплектоваться ещё и дизельными (или бензиновыми) электрогенераторами (ДЭГ). Но даже в самых ответственных случаях для обеспечения возможности резервирования электрогенерирующих мощностей более эффективным будет использование дополнительных АБ или блоков бесперебойного питания (ББПП), а также дополнительных ВЭУ и СФЭМ.

Модульный принцип построения таких систем автономного обеспечения электроэнергией позволяет варьировать количеством и мощностью их составных единиц (ВЭУ, СФЭМ, ДЭГ, АБ, ББПП) таким образом, чтобы всегда можно было минимизировать капитальные вложения на их сооружение в различных климатических зонах. Так, например, в широтах выше 40⁰, где чаще всего имеется достаточно высокий ветровой потенциал, необходимо, чтобы основная часть электричества (вплоть до 100%) производилась посредством ВЭУ, количество которых с учётом требований резервирования должно быть больше 1-ой, но по соображениям максимальной надёжности не более 3-х. Во многих случаях может быть и одна ВЭУ, но тогда для резервирования мощности в состав системы должны включаться СФЭМ или ДЭГ.

Расчёты свидетельствуют, что при нынешнем уровне цен на требуемые виды оборудования и их удельных технико-экономических показателях производства электроэнергии установленная мощность компонентов систем типа ВЭУ+СФЭМ должна обеспечивать примерно следующее соотношение объёмов выработанного ими электричества: ВЭУ - 30-100%; СФЭМ - 0-70%. Это значит, что в высоких широтах, например, северного полушария, где уровень солнечной инсоляции очень низок, особенно в зимнее время, системы энергообеспечения базовых станций сотовой связи могут комплектоваться только ВЭУ и АБ (ББПП), т.е. при этом исключается использование планарных СФЭМ на базе солнечных фотопреобразователей из монокристаллического кремния. Обращаем на это особое внимание потому, что одна из ведущих фирм мирового рынка автономных систем энергообеспечение станций сотовой связи, а, именно, "NESTE Advanced Power Systems" (NAPS) в последние годы следует совершенно противоположной концепции: для систем автономного обеспечения станций сотовой связи электроэнергией она использует исключительно СФЭМ планарного типа, для изготовления которых применяются лишь фотоэлектрические преобразователи на базе моно- и мульткристаллического кремния. На данное время по удельным и абсолютным показателям это самое дорогостоящее электрогенерирующее оборудование и поэтому себестоимость генерируемой им электрической энергии является наивысшей (см. табл.1). В высоких географических широтах в зимнее время она может превышать даже 1евро за кВтчас электричества. При этом мощность оборудования, необходимая для покрытия рабочих нагрузок станции

ООО НПО «ПланЭКО»

связи здесь должна быть в 4-7 раз больше по сравнению со станциями сотовой связи, работающими, например, в экваториальных и других зонах с высоким уровнем солнечной инсоляции, в частности с высоким годовым числом часов прямого солнечного сияния. Отметим также, что в низких географических широтах нет большой разницы в уровне солнечной инсоляции между зимним и летним периодами года, а следовательно, и значительной разницы в объёмах производства электричества в эти поры года не будет. Таким образом, в низких географических широтах СФЭМ становятся очень эффективным и желательным компонентом систем автономного энергообеспечения базовых станций сотовой связи. В высоких географических широтах, наоборот, наиболее эффективным и желательным компонентом таких систем являются ВЭУ.

Напрашивается вопрос: - "Почему же фирма NAPS в последнее время не следует этой логике?" Для получения ответа на этот вопрос пришлось довольно детально изучать многолетний опыт работы фирмы NAPS на мировом рынке автономных систем энергообеспечения базовых станций сотовой связи. Анализ информационных материалов, представленных на фирменном сайте, а также опубликованных в различные годы в специальных журналах и проспектах, показал, что фирма NAPS производит системы автономного электрообеспечения, которые на станциях сотовой связи обеспечивают среднегодовую нагрузку лишь в интервале 1-4 кВт. Безусловно, что для современных базовых станций сотовой связи этого недостаточно: их уровень среднегодовых электрических нагрузок составляет 4-7 кВт, а во многих случаях и более 10 кВт. Для повышения уровня надёжности и других важных потребительских качеств систем автономного электрообеспечения станций сотовой связи фирма NAPS за свою многолетнюю деятельность по их производству и поставкам проделала очень большую работу по совершенствованию генерирующего оборудования, как в части конструкции и состава, так и его схемных решений. Сначала производимые фирмой NAPS системы электрообеспечения станций сотовой связи комплектовались только ДЭГ, к производству и эксплуатации которых она причастна до сих пор. На следующем этапе фирма NAPS произвела модернизацию своих автономных систем энергообеспечения станций сотовой связи посредством дополнения ДЭГ сначала СФЭМ, а затем и ВЭУ (см. Рис. 1, 2).

Рис.1. Блок-схема систем автономного электрообеспечения NAPS

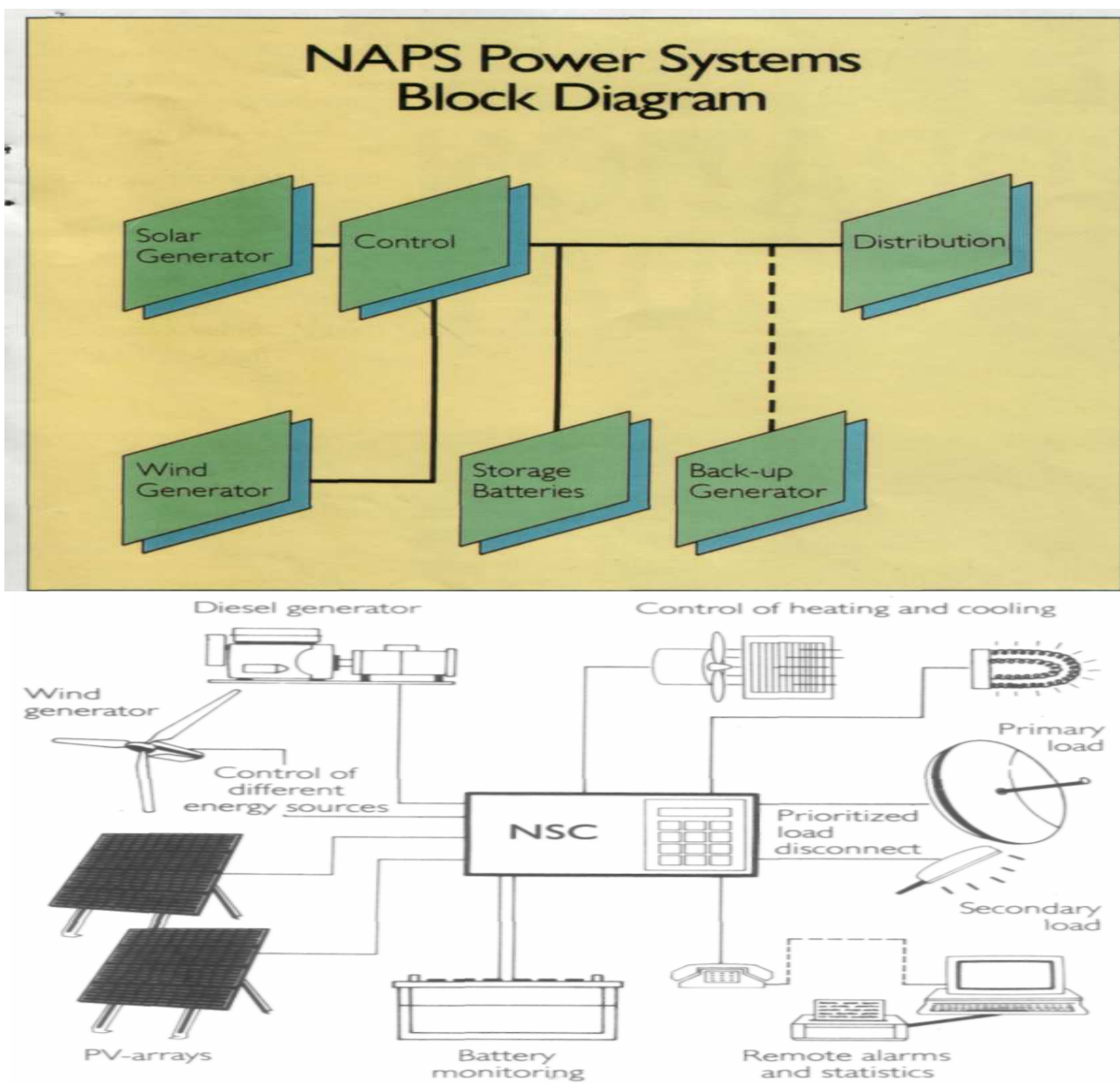


Рис. 2. Типовая электрическая схема системы автономного энергообеспечения станции мобильной связи, состоящей из ДЭГ, СФЕМ, ВЭУ, АБ, систем контроля и управления, а также потребителей.

Такая модернизация систем энергообеспечения станций связи, как показал анализ, выполненный фирмой, обеспечила значительно более высокую технико-экономическую их эффективность (см. Рис. 3, 4)

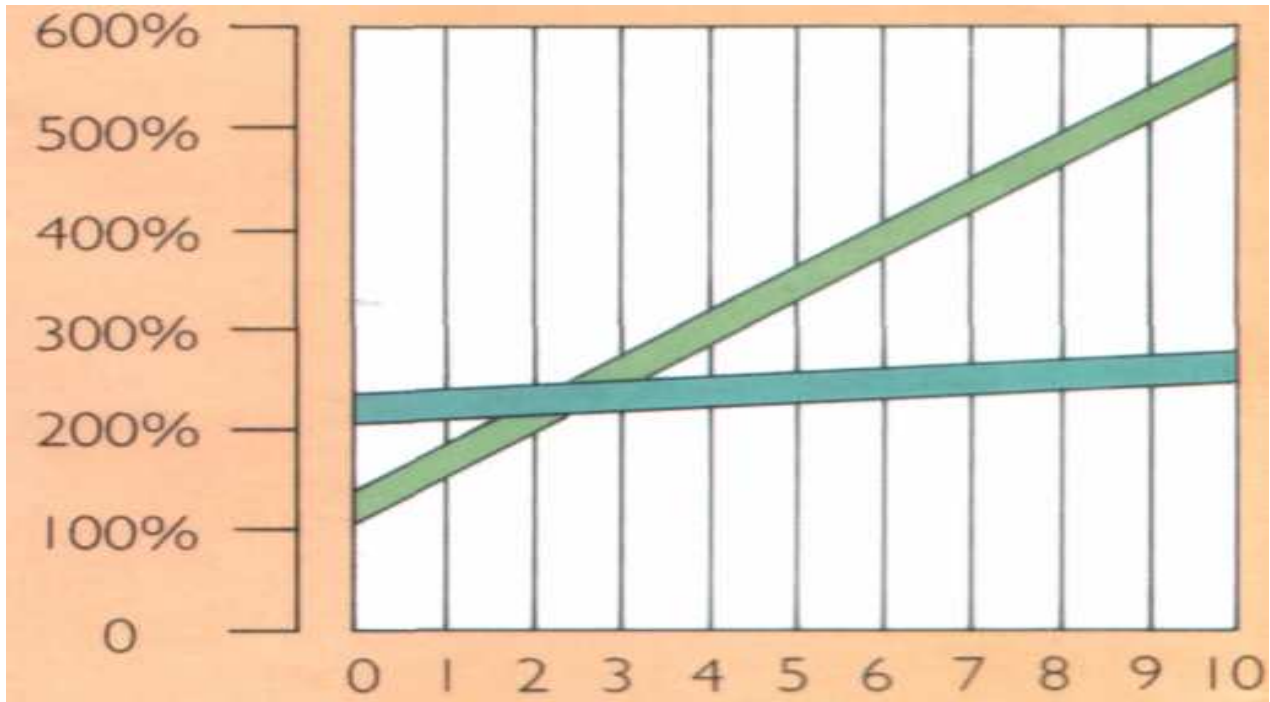


Рис.3. Сравнение полных затрат на эксплуатацию систем электрообеспечения базовых станций сотовой связи в течение 10 лет:

- на базе ДЭГ (прямая линия с большим наклоном);
- комбинированной, состоящей из ДЭГ+СФЭМ + ВЭУ (прямая с меньшим наклоном).

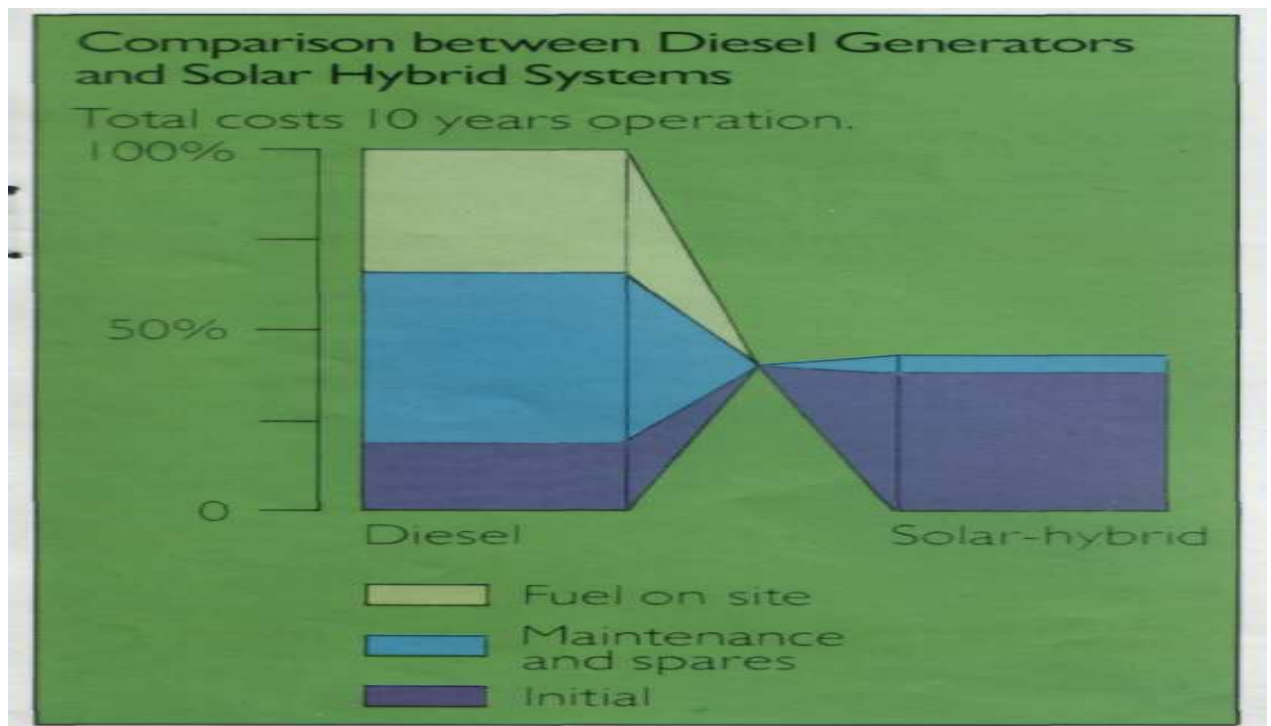


Рис. 4. Структура полных затрат на эксплуатацию систем электрообеспечения базовых станций сотовой связи:

- на базе ДЭГ (слева);
- комбинированной, состоящей из ДЭГ+СФЭМ + ВЭУ (справа).

В частности, из графика представленного на Рис. 3, видим, что полные затраты на эксплуатацию энергосистемы на базе ДЭГ в течение 10 лет являются почти в 3 раза большими нежели аналогичные затраты на эксплуатацию комбинированной системы, состоящей из ДЭГ+СФЭМ+ВЭУ. Из графика представленного на Рис. 4. видим, что большие полные затраты у энергосистем на базе ДЭГ обусловлены большим объемом работ по их обслуживанию, а также использованием и доставкой дизельного топлива на площадку энергосистемы станции связи, как правило, удаленную от сервисного центра на большие расстояния. В этом отношении использование гибридной энергоустановки очень выигрышно, поскольку в этом случае резко сокращается потребление моторного топлива и объем работ по сервисному обслуживанию, хотя капитальные затраты, как видно из Рис.4, будут большими почти в 2 раза.

Анализ свидетельствует, что слабым звеном комбинированных систем автономного энергообеспечения станций сотовой связи, производимых фирмой NAPS в 90-ые годы прошлого столетия, были ВЭУ. Сначала фирма NAPS использовала маломощные ВЭУ моделей WTG 50 и WTG 250 номинальной мощностью 50 и 250 Вт соответственно. Эти ВЭУ были удобны тем, что они генерируют постоянный ток и, благодаря отсутствию в кинематической схеме мультипликатора (редуктора), обладают высокой чувствительностью к ветру. Так, ВЭУ мод. WTG 50, имеющая 6-лопастной ротор диаметром 0,91 м начинает вырабатывать электрический ток уже при скорости ветра 1,8 м/с, а WTG 250 - с 3-лопастным ротором - при 2,2 м/с. Эти ВЭУ выключаются соответственно при



20,0 м/с и 13,5 м/с.



Рис. 5. ВЭУ типа "ротор Дарье" использовались фирмой NAPS для систем энергоснабжения базовых станций сотовой связи в странах Скандинавии.

Рис.6. Гибридные системы энергоснабжения базовых станций сотовой связи на базе СФЭМ + резервный ДЭГ построены фирмой NAPS в странах Африки и южной Азии.

Понятно, что такие маломощные ВЭУ, если бы они работали на полную мощность даже непрерывно, что исключено, то и тогда в энергообеспечение станций сотовой связи существенного вклада они внести бы не смогли. Так, если учесть, что среднегодовая электрическая нагрузка энергосистем базовыми станциями сотовой связи может составлять 10 кВт, а одна ВЭУ мод. WTG 50 или WTG 250 в лучшем случае потребителю может гарантировать среднегодовую электрическую нагрузку лишь в 20 Вт и 100 Вт соответственно, то это меньше необходимого значения электрической нагрузки в 100-500 раз. Повышение доли электричества за счёт увеличения числа таких ВЭУ ситуацию не улучшает, а, наоборот, приводит к увеличению затрат на обслуживание и ремонт энергосистемы. Кроме того, оказалось, что конструктивное исполнение этих ВЭУ, не обеспечивает необходимой надёжности их работы, особенно в климатических зонах и в периоды года с температурами ниже минус 30⁰С. С целью обеспечения более существенного вклада от ВЭУ ещё в 90-ые годы прошлого столетия фирма NAPS попыталась применить ВЭУ большей мощности типа "ротор Дарье" в комбинации с "ротором Савониуса" для обеспечения самозапуска ВЭУ (см. Рис 5.).

Сейчас с высоты знания современных достижений и мирового опыта развития ветроэнергетики можно уверенно заявлять, что это был неверный шаг, поскольку ВЭУ этого типа значительно хуже пропеллерных ВЭУ с 3 - мя профилированными лопастями как по *кпд* и объёмам выработки электроэнергии, так и, особенно, по надёжности. В конечном итоге фирма NAPS с ортогональной ВЭУ потерпела

неотвратимое фиаско и вообще отказалась от использования ВЭУ в составе гибридных систем энергообеспечения базовых станций сотовой связи (см. Рис. 6.). Вследствие этого были ограничены диапазоны рабочих нагрузок, а тем самым и номенклатура автономных энергосистем для станций сотовой связи, что обусловило увеличение сегмента рынка дорогих систем и сужение дешёвых. В настоящее время это неуклонно ведёт к существенному сокращению числа заказов на строительство базовых станций сотовой связи, особенно в труднодоступных регионах и на малонаселённых территориях. Но так будет не всегда, потому что уже в настоящее время для комплектации комбинированных надёжно работающих автономных систем электрообеспечения объектов сотовой связи и для других аналогичных целей можно эффективно использовать ВЭУ. Более того, работа в этом направлении уже начата рядом конструкторских организаций, получивших знания и опыт в сфере ветроэнергетики. Даже сегодня есть некоторые ВЭУ, которые в составе комбинированных систем автономного энергообеспечения могут выполнять те задачи, решения которых требует от них развитие сотовой связи. Но для этого нужно правильно выбрать ВЭУ.

3. Предложения по выбору ВЭУ и СФЭМ для гибридных систем автономного энергообеспечения базовых станций сотовой связи.

О реальности создания эффективных гибридных автономных энергосистем на базе ВЭУ или с их участием довольно убедительно свидетельствуют материалы Приложения 1. Но не многие знают, что сделать это можно лишь на базе высокоэффективных и надёжных ВЭУ и СФЭМ, разработанных и выпускаемых в Украине, но пока ещё в очень ограниченной номенклатуре и малыми сериями. В этих ВЭУ и СФЭМ применяются оригинальные конструкторские решения, которые и позволили им достичь высоких технико-экономических показателей.

3.1. Выбор ВЭУ. Приведенные ниже иллюстрации свидетельствуют об использовании разработчиками украинских ВЭУ оригинальных конструкторских решений по ветряному колесу ветродвигателя и по электрическому генератору ВЭУ. Кроме того, нужно особо отметить, что в кинематических схемах этих ВЭУ отсутствуют мультипликаторы, благодаря чему генерирование электроэнергии они начинают со скорости ветра 1,7 м/с, а при скорости ветра 7-9 м/с достигают номинальной мощности. Эти ВЭУ безопасно и надёжно работают даже при штормовых ветрах, а коэффициент использования их установленной мощности (КИУМ) в зависимости от ветрового потенциала места размещения может достигать 0,4 и более высоких значений. ВЭУ выпускаются в комплекте с ББПП и другой аппаратурой осуществляющей автоматический контроль и управление работой ВЭУ. Серийно разработчиком производятся лишь ВЭУ двух моделей: одна из них ВЭУ-08 с номинальной мощностью 0,8 кВт, а другая - ВЭУ "Пчёлка" с номинальной мощностью 150 Вт. Разработчик самостоятельно, в некоторых случаях совместно с партнёрами разработал конструкторскую документацию, изготовил и в течение 2-3 лет успешно провел эксплуатационные испытания опытных образцов ВЭУ мощностью 3 кВт и мощностью 10 кВт. Эксплуатационные испытания этих образцов подтвердили высокие расчётные характеристики ВЭУ, но для налаживания их серийного производства нужны финансовые средства для доработки и выпуска комплекта рабочей конструкторской документации, сертификации ВЭУ, а также

ООО НПО «ПланЭКО»

создания производственных мощностей. Более детально характеристики, общий вид и некоторые примеры использования этих ВЭУ приведены ниже.

ООО НПО "ПланЭКО" (www.planeco.com.ua), совместно с разработчиком начали работы по созданию ВЭУ мощностью 20 кВт, освоение серийного производства и использование которых является очень перспективным для комплектования базовых станций сотовой связи автономными гибридными системами энергообеспечения.

Как видим из приведенных ниже примеров использования ВЭУ, некоторые из них уже прошли апробацию длительной работой в системах энергообеспечения подобных по техническим условиям к системам, необходимым для нужд базовых станций сотовой связи. В частности, опыт работы гибридной системы автономного энергообеспечения маячного городка на Тендровской косе, состоящей из 3-х ВЭУ-08, мощностью по 0,8 кВт и 3-х СФЭМ мощностью по 120 Вт, безусловно, будет полезен при разработке аналогичных по составу комплекта оборудования гибридных систем энергообеспечения базовых станций сотовой связи. Полезен в этом отношении будет также опыт использования ВЭУ-08 для энергообеспечения станции связи на горе Мегура в Карпатах. Отдельные решения для этой же цели могут быть заимствованы и из других приведенных примеров использования упомянутых выше ВЭУ. В то же время необходимо отметить, что использование ВЭУ-08 даже в количестве 3-х шт., не в полной мере удовлетворяет требованиям по надёжности и, особенно, по уровню электрических нагрузок современных базовых станций сотовой связи. Например, гибридная система энергообеспечения маячного городка на Тендровской косе может гарантировать среднегодовую нагрузку около 1,0-1,2 кВт. Для базовых станций сотовой связи в подавляющем числе случаев этого будет недостаточно, поскольку, как отмечалось выше, их среднегодовые нагрузки значительно выше. Учитывая реально возможное значение *КИУМ* и требования к доле ВЭУ в генерации электроэнергии (см. разд. 2.), среднегодовую нагрузку, например, в 4,0 кВт может гарантированно обеспечить гибридная энергосистема ВЭУ+СФЭМ, мощность ВЭУ в которой будет составлять около 10 кВт. Реально, это может быть либо одна ВЭУ с мощностью 10 кВт или же 3-и ВЭУ с мощностью по 3 кВт. Другой пример, среднегодовую нагрузку базовой станции сотовой связи в 10 кВт сможет обеспечить энергосистема с тремя ВЭУ с мощностью по 10 кВт или же 1-2 ВЭУ с мощностью по 15-20 кВт. Но серийно ВЭУ этой мощности в Украине не выпускаются, хотя как было показано выше опытные образцы таких ВЭУ успешно прошли длительные натурные испытания. Таким образом, в Украине отработаны и проверены схемные и конструкторские решения, которые подтвердили высокую технико-экономическую эффективность и надёжность работы ВЭУ, а тем самым целесообразность широкого использования их для комплектования автономных систем энергообеспечения базовых станций сотовой связи. Для реализации этой возможности необходимо завершить разработку конструкторской и технологической документации, подготовить и наладить серийное производство перспективных ВЭУ, в первую очередь, с единичной мощностью следующего ряда: 3,0; 10,0 и 20,0 кВт и произвести их сертификацию. По предварительным расчётам суммарные затраты на завершение разработки конструкторской и технологической документации для изготовления ВЭУ указанного ряда, их сертификацию, подготовку специализированного производства

ООО НПО «ПланЭКО»

этих ВЭУ, включая строительство цеха (завода), составят 3-4 млн. долл. США. Расчеты при этом показали, что вложенные средства окупятся в течение не более 1,5 - 2 лет.

Ветроэлектрическая установка ВЭУ-08



ВЭУ-08 предназначена для электрообеспечения небольших объектов. Применяется как в местах, где отсутствует электрическая сеть (питание автономных потребителей), так и в качестве резервного источника электроэнергии.

На ВЭУ-08 применена аэромеханическая система стабилизации частоты вращения ветровой турбины, позволяющая эксплуатировать ее в широком диапазоне скоростей ветра.

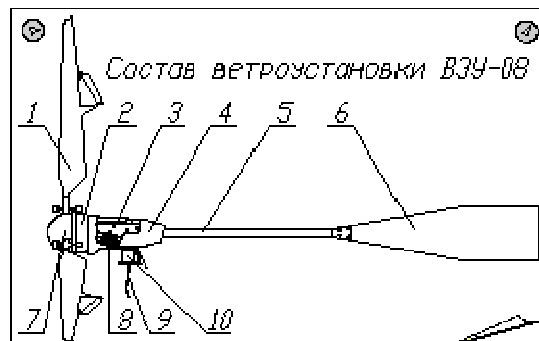
Тихоходный генератор на постоянных магнитах в движение приводится турбиной. Отсутствие мультипликатора и системы возбуждения генератора обеспечивает высокий ресурс ВЭУ.

При работе совместно с **ИБП-1.5/ЗС-ВГ/ФМ** обеспечивается питание нагрузки мощностью до 1.5 кВт стабилизированным синусоидальным напряжением 220В/50Гц. Предусмотрена возможность подключения к системе фотоэлектрических модулей.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

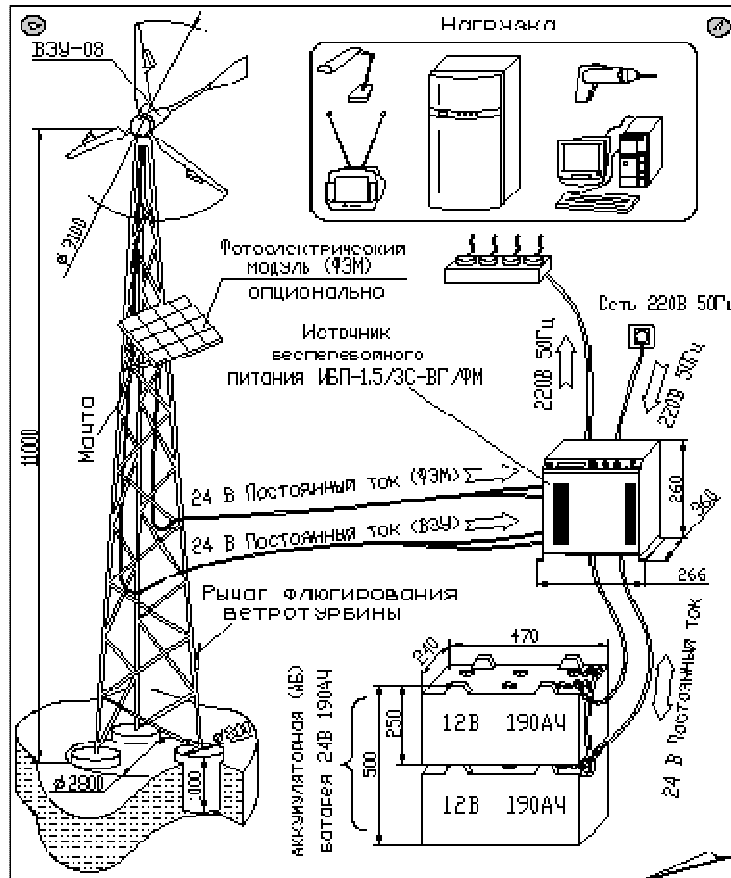
Номинальная мощность	800 Вт
Диаметр ветротурбины	3.1 м
Стартовая скорость ветра	2.5 м/с
Расчетная скорость ветра	8 м/с
Макс. эксплуатационная скорость ветра	50 м/с
Номинальная частота вращения	310 об/мин
Метод остановки	флюгирование
Регулирование оборотов	изменение шага
Номинальное напряжение генератора	24 В
ЭДС генератора	до 60 В
Рекомендуемая высота мачты	11..17 м

СОСТАВ



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 - Ветротурбина | 5 - Хвостовая балка |
| 2 - Генератор | 6 - Киль |
| 3 - Центральная рама | 7 - Кок ветротурбины |
| 4 - Кожух | 8 - Выпрямитель |
| 9 - Трос флюгирования ветротурбины | |
| 10 - Опорно-поворотное устройство с токосъемом | |

ТИПОВОЙ СОСТАВ СИСТЕМЫ



В типовой состав системы энергообеспечения нагрузок 220В/50Гц на основе ВЭУ-08 входят следующие компоненты:

Головка ВЭУ-08 - вырабатывает "грубую" электроэнергию с нестабильными параметрами, зависящими от скорости ветра.

Фотоэлектрический модуль (ФЭМ) - опциональный компонент, вырабатывающий дополнительную "грубую" энергию. Повышает надежность энергообеспечения и суммарную выработку энергии.

Аккумуляторная батарея (АБ) - накопитель энергии для согласования графиков выработки и потребления энергии. Применяется кислотная АБ с номинальным напряжением 24В и рекомендуемой емкостью 190Ач. Может составляется из двух автомобильных стартерных АБ 12В.

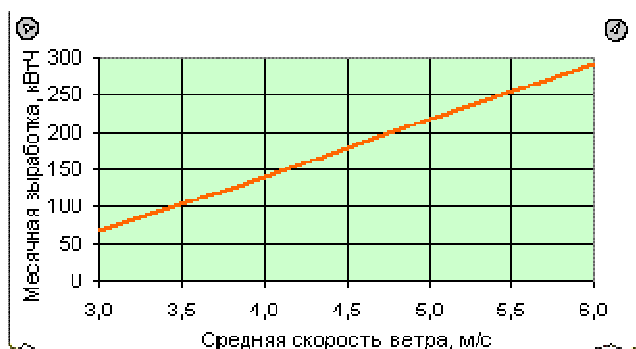
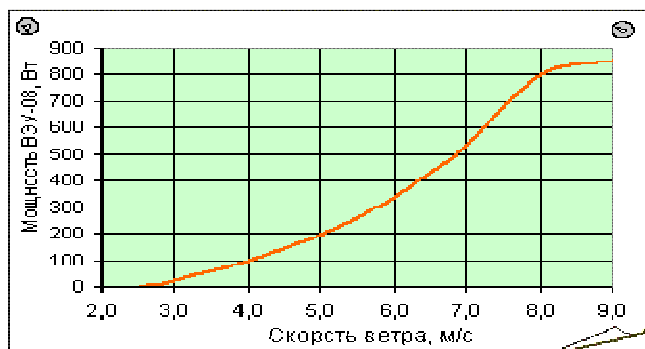
Источник бесперебойного питания ИБП-1.5/ЗС-ВГ/ФМ - устройство, согласующее между собой работу указанных выше компонентов, нагрузку и внешнюю сеть 220В. Заряжает АБ от ВЭУ, ФЭМ и внешней сети 220В. Преобразует накопленную в АБ энергию в стабилизированные 220В/50Гц с номинальной мощностью до 1.5кВт. Автоматически коммутирует нагрузку на питание от внешней сети 220В или от преобразователя.

Отображает параметры системы на цифровом индикаторе.

Мачта - служит для установки головки на высоте 11-17м, на которой ветровой поток не затеняется препятствиями и имеет достаточную скорость.

**ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ
ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА**

**ЗАВИСИМОСТЬ МЕСЯЧНОЙ ВЫРАБОТКИ
ЭНЕРГИИ
ОТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА***



ВЭУ "ПЧЕЛА"

ВЭУ "ПЧЕЛА" предназначена для электрообеспечения объектов с малым энергопотреблением. Может применяться в полевых лагерях, яхтах, для питания автономных объектов (ретрансляторы, маяки, метеостанции, рекламные щиты, системы контроля, наблюдения, сбора и передачи данных и т.п.)

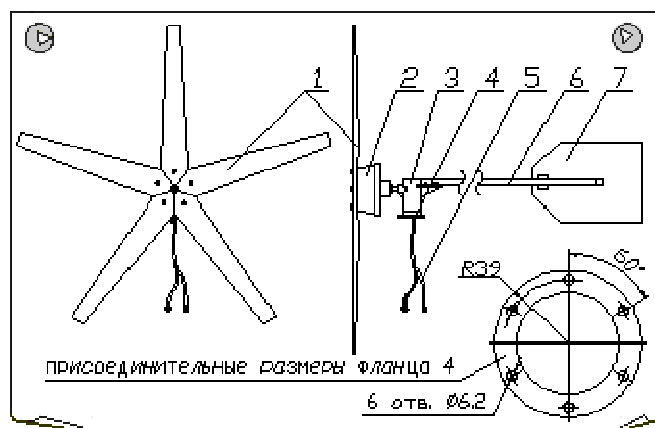
Тихоходный генератор на постоянных магнитах в действие приводится турбиной. Отсутствие мультипликатора и системы возбуждения генератора обеспечивает высокий ресурс ВЭУ. Небольшие размеры ВЭУ позволили спроектировать ее таким образом, что она нормально функционирует в широком диапазоне скоростей ветра без регулирования турбины. Простота конструкции обеспечивает высокую надежность "ПЧЕЛЫ".



ХАРАКТЕРИСТИКИ

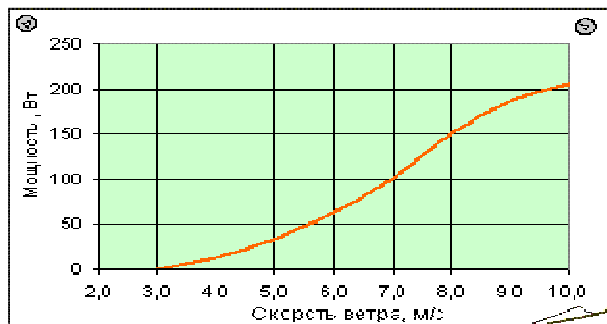
Номинальная мощность, Вт	150
Диаметр ветрового колеса, м	1.2
Стартовая скорость ветра, м/с	3
Расчетная скорость ветра м/с	8
Макс. эксплуатационная скорость ветра, м/с	45
Скорость вращения, об/мин	800
Напряжение генератора, В	12
ЭДС генератора, В	60
Длина ВЭУ, м	1.5
Масса, кг	9

СОСТАВ

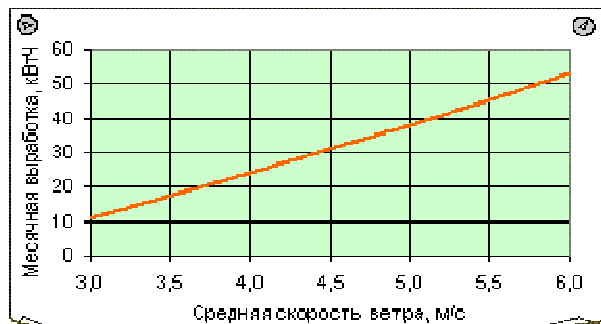


- | | |
|---|---------------------|
| 1 - Ветрогенератор | 5 - Кабель |
| 2 - Генератор | 6 - Хвостовая балка |
| 3 - Центральный корпус | 7 - Киль |
| 4 - Опорно-поворотный фланец с токосъемом | |

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА



ЗАВИСИМОСТЬ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ОТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ВЕТРА*



Источник бесперебойного питания ИБП-1.5/3С



Источник бесперебойного питания ИБП-1.5/3С предназначен для бесперебойного оборудования и приборов суммарной мощностью до 1.5кВт при отключениях сетевой энергии или ее полном отсутствии.

Производятся источники двух модификаций:

ИБП-1.5/3С - заряжает аккумуляторные батареи (далее АБ) только от сети 220В.

ИБП-1.5/3С-ВГ/ФМ - с входами от [ветроустановки](#) и фотоэлектрического модуля.

Основные достоинства ИБП-1.5/3С-ВГ/ФМ:

- сочетание большого количества функций в одном устройстве;
- стабилизированное синусоидальное напряжение на выходе инвертора;
- температурная компенсация напряжения заряда АБ;
- цифровая индикация параметров;
- низкая стоимость по сравнению с аналогами.

ХАРАКТЕРИСТИКИ

Номинальная мощность	1.5 кВт*
Длительная мощность (без перегрева)	1.1 кВт*
Перегрузочная мощность	3 кВт*
Мощность зарядного устройства	0.6 кВт
Подключаемая ВЭУ	ВЭУ-08
Мощность подключаемых ФЭМ	до 350 Вт
Напряжение на выходе инвертора	220 В ±5%
Частота на выходе	50 Гц

ФУНКЦИИ

- поддержание АБ в заряженном состоянии за счет заряда от сети 220В/50Гц, [ВЭУ](#) и ФЭМ;
- бесперебойное питание основной нагрузки от сети 220В/50Гц или от инвертора при отсутствии сети или в режиме экономии сетевой энергии*;
- питание дополнительной нагрузки от инвертора в режиме экономии сетевой энергии;
- защита АБ от глубокого разряда путем отключения нагрузок при снижении напряжения;
- температурная компенсация напряжения заряда АБ;
- цифровая индикация параметров;
- передача данных по интерфейсу RS232 или

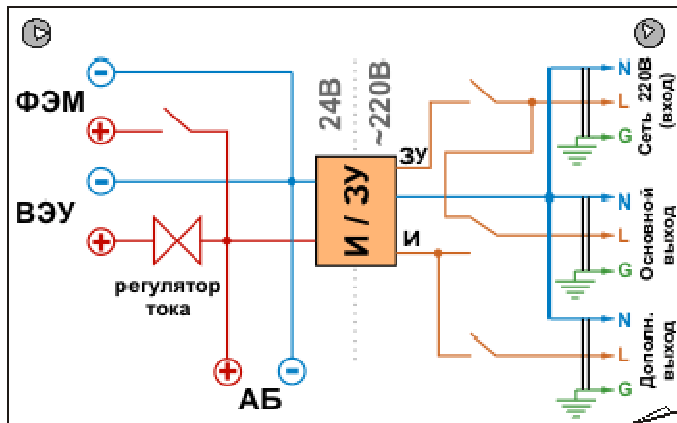
инвертора	
Время переключения нагрузки (сеть/инв.)	до 20 мс
Номинальное напряжение АБ, ВЭУ и ФЭМ	24 В
Тип подключаемой АБ	кислотная
Рекомендуемая емкость АБ	190 А·Ч
Габаритные размеры	320x266x260 мм
Масса	25 кг

RS485;

* - в режиме экономии сетевой энергии, при полном заряде АБ и наличии "лишней" мощности ВЭУ или ФЭМ, сначала основная нагрузка переключается на питание от инвертора, затем включается дополнительная нагрузка. Затем, при снижении уровня заряда АБ, сначала отключается доп. нагрузка, затем основная переводится на питание от сети. Этот режим может быть разрешен или запрещен пользователем.

* - при подключении нагрузки реактивного типа необходимо учитывать $\cos(\varphi)$

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



И/ЗУ - устройство, работающее либо в режиме инвертора, либо в режиме зарядного устройства

ВРЕМЯ РАБОТЫ ОТ АБ

Оценить время работы нагрузки от АБ при отсутствии мощностей на входах ВЭУ и ФЭМ, и выбрать необходимую емкость АБ можно, воспользовавшись следующей таблицей:

Мощность нагрузки Вт	Емкость аккумуляторной батареи, А·Ч		
	120	190	240
200	10.4ч	16.4ч	20.7ч
500	3.9ч	6.5ч	8.3ч
800	2.4ч	3.9ч	5.0ч
1100	1.5ч	2.8ч	3.6ч



Рис.7. Внешний вид ВЭУ-08.

ВЭУ-08 отличается оригинальностью решения по конструкции ветряного колеса ветродвигателя. Преимущества конструкции ВЭУ: отсутствие мультипликатора, ранний старт, достижение номинальной мощности при низкой скорости ветра - 8 м/с, работа при штормовых ветрах.



Рис.8. Использование ВЭУ-08 в горной местности для автономного энергообеспечение удалённых неэлектрифицированных потребителей. Размытость лопастей, свидетельствует о работе ВЭУ. Аналогичным образом с помощью ВЭУ-08 решена проблема автономного электроснабжения для освещения и работы аппаратуры:

- ГМС "Пожижевская" (в Карпатах возле горной вершины Говерла);
- подразделения МЧС, дислоцированного в Крыму на горе Ай-Петри.



Рис. 9. Показан пример размещения ВЭУ-08 в горной местности на безлесной вершине горы Мегура горного хребта Карпат. Здесь ВЭУ-08 работает автономно и обеспечивает электрическое питание базовой станции сотовой связи. Размытость лопастей, которую видим на фото, свидетельствует о работе ВЭУ.



Рис. 10. Гибридная автономная система энергообеспечения маячного городка и аппаратуры маяка на Тендровской косе. Система состоит из 3-х ВЭУ-08 с мачтами высотой 17 м и 3-х СФЭМ мощностью по 120 Вт, прикрепленных к мачтам ВЭУ. Все ВЭУ и СФЭМ работают на один блок бесперебойного питания. Максимальная нагрузка на систему составляет 4 кВт.



Рис. 11 Прототип ВЭУ-10 мощностью 10 кВт на эксплуатационных испытаниях на площадке возле складских и административных помещений остановленного строительства Крымской АЭС (пгт Щёлкино, Ленинский р-н, АР Крым). Размытость лопастей, которую мы видим на этом фото, свидетельствует о работе ВЭУ. За 3 года эксплуатационных испытаний ВЭУ-10 наработала почти 20 тыс. моточасов. Помесячные данные засвидетельствовали, что КИУМ этой ВЭУ составлял 0,96-1,0, т.е. ВЭУ при наличии "энергетических" ветров работала почти непрерывно. Серийное производство ВЭУ-10 до сих пор не начато.



Рис. 12. Эксплуатационные испытания одного из прототипов ВЭУ-3 мощностью 3 кВт, смонтированного на недостроенном здании, проводили на берегу моря. Бросается в глаза простота конструкции ВЭУ, что обеспечивает ей высокую надёжность и успешность работы. Двухлетние испытания прототипов ВЭУ-3 и в Крыму, и в Харькове засвидетельствовали её уникально высокие технико-экономические показатели. В названном классе мощности ВЭУ-3, безусловно, является мировым лидером. Из-за отсутствия средств на завершение разработки конструкторской и технологической документации, сертификацию ВЭУ и подготовку производства серийный выпуск ВЭУ-3 сдерживается уже в течение 2,5 лет.

3.2. Выбор СФЭМ. По прогнозным данным к 2030 году установленные мощности по производству электрической энергии за счёт технологии прямого преобразования энергии солнечной инсоляции достигнет 655,8 ГВт. По сравнению с 2000 годом эти мощности возрастут в 655,8 раз. Уже сейчас по темпам относительного прироста установленной мощности эта технология производства электричества является мировым лидером среди всех энергетических технологий, а, примерно, после 2017 года она станет лидером среди всех технологий использования возобновляемых источников и по темпам абсолютного прироста. По величине суммарной установленной на Земле мощности эта технология станет лидером в пределах после 2030 года.

Среди всех типов полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) для утилизации и преобразования энергии солнечной инсоляции в электрическую в качестве наиболее перспективных рассматриваются лишь следующие два:

- планарные ФЭП, т. е. ФЭП без концентраторов солнечных лучей или с минимальной их концентрацией (не более 3 раз);
- ФЭП с концентраторами солнечных лучей, в которых максимальное значение концентрации солнечных лучей может достигать 1000 раз.

На данный период времени наибольшее распространение получили планарные ФЭП, производство которых осуществляется из моно- или мультикристаллического кремния. КПД этих ФЭП достигает 18% и его дальнейшее увеличение может быть незначительным (в пределах 3-7%). Для производства ФЭП с концентраторами энергии солнечной инсоляции используют арсенид галлия. КПД этих ФЭП в настоящее время достигает 30%, а в перспективе за счёт освоения украинских и российских разработок может быть повышен до 45% и более. В частности, технология получения методом жидкофазной эпитаксии многослойных наногетероструктур с квантовыми точками, разработанная в Украине, позволяет серийно выпускать ФЭП, преобразующие концентрированное солнечное излучение в электрической энергии с эффективностью более 25% при её себестоимости менее 9 центов за 1кВт·час.

ФЭП из арсенида галлия по сравнению с ФЭП, изготовленными из кремния, имеют значительно меньшие размеры (см. Рис.13), и, хотя по цене они в несколько раз дороже, но использование концентраторов позволяет значительно удешевить СФЭМ, т.е. СФЭМ одной и той же мощности, изготовленные из кремниевых ФЭП, намного дороже, чем СФЭМ из ФЭП на базе арсенида галлия. Преобразование концентрированного солнечного излучения, позволяет резко уменьшить расход дорогого полупроводникового материала (см. Рис.14, Рис.15). Например, если для солнечной фотоэлектрической станции (СФЭС) при преобразовании прямого (неконцентрированного) солнечного излучения ($K=1$) необходима общая площадь солнечных элементов $S=1\text{ м}^2 = 10000\text{ см}^2$, то для СФЭС такой же площади, при использовании концентрированного солнечного излучения со степенью концентрации $K=500$, необходимы солнечные элементы общей площадью в 500 раз меньше, т.е. площадью $S= 10,000\text{ см}^2/500=20\text{ см}^2$. Таким образом, СФЭМ на базе ФЭП из арсенида галлия обеспечивают как технические, так и экономические преимущества по сравнению со СФЭМ из кремния (см. Табл. 1).

Стоимость 1Вт установленной мощности наземной СФЭС с концентраторами излучения со степенью концентрации $K \geq 500$ составляет \$3. Следовательно, расчетная стоимость серийного производства СФЭС пиковой мощностью, например, 20 кВт будет

ООО НПО «ПланЭКО»

составлять \$ 60 000. Однако, СФЭС, укомплектованная СФЭМ с концентраторами солнечного излучения, для обеспечения высокой эффективности утилизации солнечной энергии должна работать только в режиме слежения за солнцем, что увеличивает затраты на её изготовление. В то же время слежение за положением Солнца повышает коэффициент использования солнечного излучения примерно на 30%, что существенно перекрывает затраты на систему слежения.

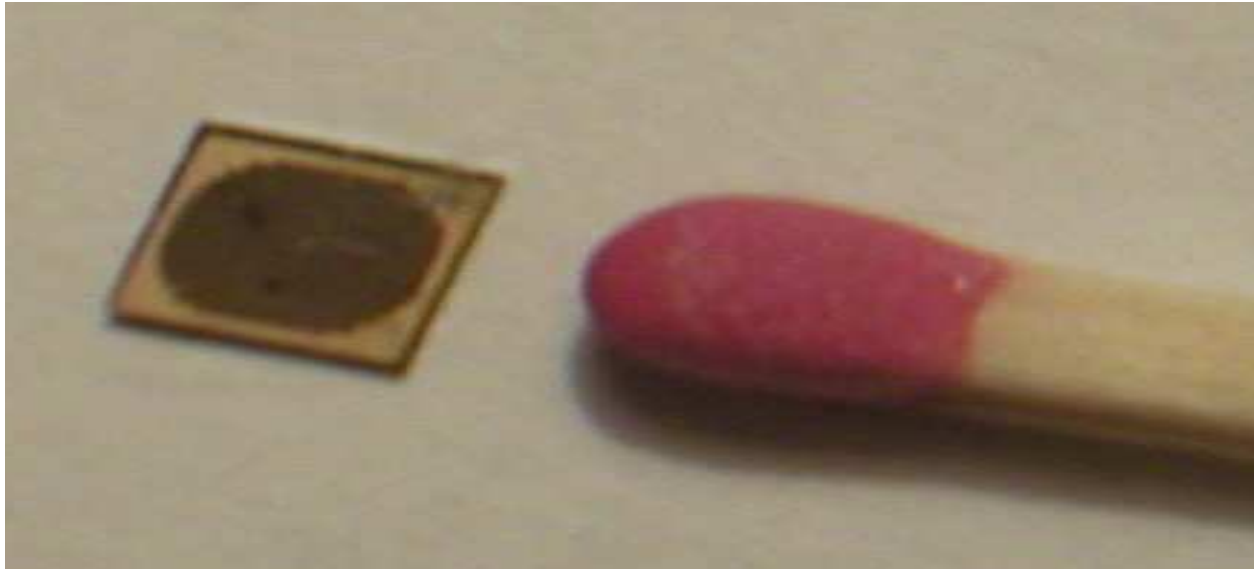


Рис. 13. ФЭП из арсенида галлия размером 3,2 x 3,2 мм² в сравнении с головкой спички.

Таблица.1. Сравнительные характеристики СФЭМ на основе монокристаллического кремния Si и GaAs

№	Показатели	Обозначение Единицы измерения	Si $\eta = 17\%$	GaAs $\eta = 30\%$	GaAs $\eta = 45\%$
1	Установленная мощность СФЭС	P_p (W)	3, 000	3, 000	3, 000
2	КПД СФЭМ	η (%)	13	30	45
3	Площадь СФЭМ при солнечной инсоляции 1kW/m ²	S (m ²)	23	10	6. 7
4	Площадь СФЭМ на 1 kW	S_{kW} (m ² /kW)	7. 69	3. 3	2. 2
5	Стоимость 1W установленной мощности	R (\$/W)	7	3	2
6	Фактор использования солнечной энергии	F (%)	20	33	33
7	Среднее количество часов работы в день в режиме пиковой мощности $T_D = F \times 24$	T_D (час)	4. 8	8	8
8	Количество часов работы в году в пиковом режиме $T_p = T_D \times 365$	T_p (час)	1, 752	2, 920	2, 920
9	Годовой объём выработанной электроэнергии - $W = P_p \times T_p$	W (kWh)	$5,1 \times 10^3$	$8,7 \times 10^3$	$8,7 \times 10^3$
10	Общая стоимость СФЭС $A = P_p \times R$	A (\$)	21, 000	9, 000	6, 000
11	Себестоимость 1 kWh вырабатываемой энергии $C = \frac{R}{O \cdot W}$ при сроке возврата кредитов O=10 лет	C (\$)	0,4	0,1	0,07
12	Себестоимость 1 kWh вырабатываемой	C (\$)	0,27	0,069	0,046

	энергии $C = \frac{R}{O \cdot W}$ при сроке возврата кредитов O=15 лет				
13	Срок окупаемости СФЭС при продаже электроэнергии за 6 центов/kWh	O (лет)	70	17,1	11,5



Рис.14. СФЭМ с концентраторами в виде линз Френеля (фрагмент СФЭС).

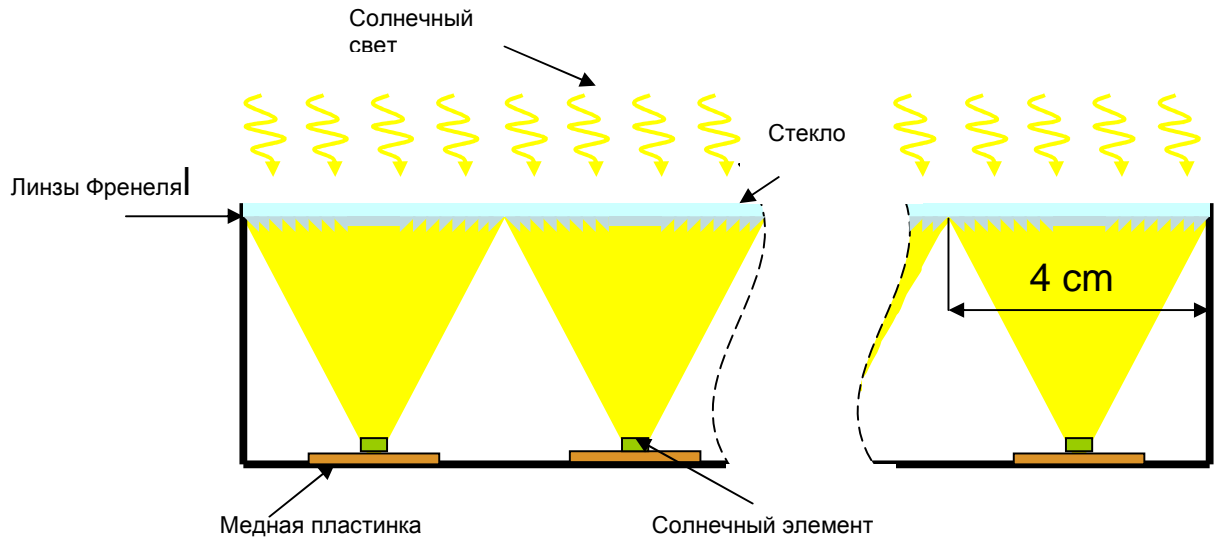


Рис. 15 Схема функционирования СФЭМ

Таким образом, использование следящих систем, значительно уменьшает расход дорогих полупроводниковых материалов. Это открывает возможности для использования в СФЭМ и СФЭС дорогих полупроводниковых материалов типа GaAs, а в перспективе еще и более дорогих, но более эффективных многослойных тандемных гетероструктур и наногетероструктур с квантовыми точками на основе полупроводниковых соединений типа III-V. Такие СФЭС непременно вытеснят сотовой связи СФЭМ, изготовленные из ФЭП на базе кремния и применяемые в настоящее время фирмой NAPS.

В настоящее время коллектив разработчиков занят созданием СФЭС мощностью 30 кВт для электрообеспечения автономных потребителей (см. Рис.16).



Рис. 16. СФЭС мощностью 30 кВт со слежением за положением Солнца. Габаритные размеры панели со СФЭМ - 13,52 м × 8,41 м, площадь - $S = 113,7 \text{ м}^2$.

Очевидно, что для комплектования систем энергообеспечения базовых станций сотовой связи СФЭС такой большой мощности пока что не нужны. Как видно из данных Табл.1, СФЭС мощностью 3 кВт в состоянии покрыть среднегодовую нагрузку в 1 кВт, а поэтому для покрытия в составе ВЭУ+СФЭМ 70% среднегодовой нагрузки в 10 кВт (которую можем рассматривать как максимально возможную для базовых станций сотовой связи) потребуется СФЭС мощностью лишь около 20 кВт. Безусловно, что конструкция СФЭС должна предусматривать возможность комплектования на её одной раме всех необходимых СФЭМ, общая мощность которых может изменяться в интервале от 3 до 20 кВт. Напомним, что "периферийные" элементы гибридных систем обеспечения станций сотовой связи электроэнергией являются общими для СФЭС, ВЭУ и даже ДЭГ.

Для разработки конструкторской и технологической документации, подготовки и освоения производства СФЭМ (на базе ФЭП из арсенида галлия с концентраторами солнечного излучения в виде линз Френеля), освоения на их основе серийного производства СФЭС с системой слежения и мощностью 3-20 кВт потребуются финансовые средства в объёме около 1 млн. долл. США (без учёта затрат на строительство производственных помещений).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.

1. Дальнейшее развитие сотовой связи и расширение масштабов её применения требует изменения организации и значительного удешевления энергообеспечения её базовых станций.

2. Для достижения такого результата предлагается освоить серийное производство автоматических автономных гибридных систем энергообеспечения, мощность которых будет регулироваться путём изменения числа, мощности и типа модульных единиц, в качестве которых будут использоваться ветряные электрогенерирующие установки и солнечные фотоэлектрические модули. На период наладки энергосистем, а также для резервирования генерирующих мощностей такие системы в ряде случаев могут комплектоваться дополнительными аккумуляторами и дизельными электрогенераторами.

3. Освоение новой технологии и организации обеспечения станций сотовой связи электрической энергией позволит повысить надёжность их работы, сократить или ликвидировать потребление дизельного топлива, сервисное обслуживание, улучшить санитарную и экологическую ситуацию в местах дислокации станций связи.

4. Модульный принцип построения систем энергообеспечения станций сотовой связи позволит минимизировать капитальные затраты на их сооружение во всех климатических зонах Земли.

5. В зависимости от климатических условий с учётом уровня цен на ВЭУ и СФЭМ и прогнозных показателей по производству ними электрической энергии доля электроэнергии, выработанной ВЭУ в составе гибридных систем ВЭУ+СФЭБ, должна составлять в пределах 30-100%, а выработанной СФЭБ - соответственно 0-70%.

ООО НПО «ПланЭКО»

6. Учитывая, что наиболее часто среднегодовые электрические нагрузки систем энергообеспечения базовыми станциями сотовой связи в различных климатических зонах Земли в настоящее время составляют 4-7 кВт, иногда и 10 кВт, а в перспективе эти нагрузки будут превышать 10 кВт, модульные гибридные системы типа ВЭУ+СФЭБ с учётом должны комплектоваться ВЭУ единичной мощностью в 3,0; 10,0 и 20 кВт, а СФЭС мощностью 3-20 кВт с системами слежения за положением Солнца.

7. Суммарные затраты на завершение конструкторских работ, сертификацию изделий, подготовку производства и строительство производственных мощностей оцениваются в 3-4 млн. долл. США. Срок окупаемости затрат не превысит 1,5 - 2 года.

Приложение 1.

О Т Ч Е Т

о выполнении НИР на тему:

«Маркетинговые исследования и определение основных технических решений и оборудование для использования возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения автономных потребителей».

Исполнители: Коробко Б. П., Глуценко А. С.

Целью выполнения настоящей НИР было определение оптимальных экономически эффективных технических решений и состава оборудования для обеспечения электрической энергией отдаленных автономных потребителей, которые не включены в общегосударственную энергетическую систему и, как правило, электроэнергией в своем быту и ведении хозяйства не пользуются, или же пользуются лишь в крайне ограниченных объемах.

При этом ставились такие требования и задания:

- максимально использовать местные энергетические ресурсы, в частности возобновляемые источники энергии (ветер, солнечное излучение, водные потоки рек и тому подобное);
- процесс генерирования электрической энергии может сопровождаться лишь минимальным загрязнением окружающей естественной среды;
- абсолютные и удельные капитальные вложения и соответственно себестоимость генерирующей электроэнергии должны быть минимально возможными в связи с низкой покупательной способностью местного населения;

ООО НПО «ПланЭКО»

- электрогенерирующее оборудование должно быть простым, безопасным, надежным, универсального применения, а обслуживание его практически “безлюдным”, максимально дешевым, не требовать сложной специальной подготовки и значительных расходов дефицитных материалов и комплектующих изделий.

Анализ технических аспектов.

Сравнительный анализ технических решений по электроснабжению маломощных автономных потребителей, удаленных от централизованных энергосистем, позволяет установить, что в подобных случаях наиболее распространенными и конкурирующими между собой есть следующие виды электрогенерирующего оборудования:

- дизельные и/или бензиновые электрогенераторы;
- микроГЭС;
- ветровые электрогенерирующие установки (ВЭУ);
- ВЭУ в комбинации с фотоэлектрическими модулями, дизельными (бензиновыми) электростанциями.

Дизельные и бензиновые электрогенераторы являются надежными и по капитальным вложениям достаточно доступными средствами электроснабжения отдаленных автономных потребителей, но в то же время они нуждаются в использовании в значительных объемах дорогих импортированных горюче-смазочных материалов, постоянном надзоре за работой через повышенную опасность и загрязнение окружающей естественной среды. Наиболее важным фактором, ограничивающим масштабы применения таких электрогенераторов, является очень высокая себестоимость генерируемой ими электроэнергии, превышающая 25 евроцент/кВтч. Все другие технологии генерирования электроэнергии обеспечивают, как правило, лучшие экономические показатели. Однако, в настоящее время дизельные и бензиновые электрогенераторы являются наиболее распространенными средствами автономного электрообеспечения, а поэтому их можно рассматривать как исходный вариант для сравнения с другими технологиями и видами оборудования генерирования электроэнергии для названной выше категории потребителей. В отдельных случаях, в частности при наличии природного газа (или биогаза), можно достичь существенного снижения себестоимости электроэнергии, генерируемой с помощью такого оборудования, однако, это будет требовать дополнительных средств, что еще более осложняет обслуживание этих энергетических объектов, а кроме того делает их более опасными в эксплуатации.

МикроГЭС за всеми приведенными выше техническими и экономическими требованиями и показателями можно было бы рассматривать, как наиболее эффективный и приемлемый вариант электрообеспечения автономных потребителей. Однако, на самом деле это не совсем так из-за того, что благоприятная локализация потенциальных электропотребителей (вблизи рек) встречается крайне редко, а уровень технического совершенства работы

ООО НПО «ПланЭКО»

микроГЭС в настоящее время является довольно неудовлетворительным, особенно в части автоматизации и качества генерированной электрической энергии. В значительной мере эта ситуация обусловлена тем обстоятельством, что в гидроэнергетике до сих пор распространена практика индивидуального проектирования сооружения ГЭС всех классов мощности (в том числе микроГЭС), когда для конкретных гидрологических условий предусматривается применение лишь оригинального оборудования. Это совсем не приемлемо для сооружения микроГЭС, где можно и необходимо использовать типовые проектные решения и полностью автоматизированное оборудование серийного производства. К сожалению, такое оборудование для микроГЭС практически не производится. Немаловажной причиной этого является меньшая рентабельность производства оборудования для микроГЭС, которое может быть лишь мелкосерийным. В случае налаживания серийного производства микроГЭС, особенно для ГЭС сифонового типа, необходимо будет обязательно максимально планировать их применение для электрообеспечения автономных потребителей, расположенных вблизи рек, поскольку в этом случае можно достичь наивысшей надёжности электроснабжения и по минимальной цене.

Ветровые электрические установки, учитывая их отдельные технико-экономические характеристики и показатели эксплуатации, на первый взгляд по сравнению с микроГЭС для электрообеспечения автономных потребителей выглядят вроде бы значительно хуже. Однако, если, учитывать возможность применения ВЭУ в регионах с чрезвычайно широким диапазоном климатических характеристик, высокую серийность их производства и обусловленные этим более высокие качество и надежность ВЭУ, то объективно, что при создании систем автономного электрообеспечения потребителей в преобладающем большинстве случаев приоритет необходимо отдавать именно использованию ВЭУ. Главный недостаток работы ВЭУ, а именно, непостоянство во времени величины выдаваемой ею мощности, достаточно успешно исправляется путем включения в систему выдачи энергии аккумуляторных батарей достаточной электрической ёмкости, а благодаря этому потребление выработанной энергии будет происходить исключительно через батареи в режиме реальной нагрузки и практически достаточно долгое время может совсем не согласовываться с объемами генерирования энергии ВЭУ. В этом случае мощность нагрузки может быть даже большей от номинальной или мгновенной мощности ВЭУ и, напротив, в периоды времени, когда потребителю не нужна электроэнергия (например, ночью) ВЭУ без любых осложнений будет работать на полную мощность, а выработанная электрическая энергия будет аккумулироваться на батареях.

С учетом того, что ВЭУ в наибольшей степени обеспечивает выполнение требований, поставленных к системе автономного электроснабжения, для реализации отмеченных выше целей и заданий, то в дальнейшем более детально будем анализировать использование именно ВЭУ.

ВЭУ в комбинации с фотоэлектрическими модулями, дизельными и бензиновыми электрогенераторами в качестве систем генерирования электрической энергии для снабжения автономных потребителей также следует

рассматривать как перспективное техническое решение. Однако, понятно, что усложнение системы обуславливает значительное увеличение капитальных вложений на объект, и, следовательно, для достижения более высокого экономического эффекта нужно будет выполнять более скрупулезные расчёты. В то же время является очевидным, что в случаях, когда дизельные или бензиновые электрогенераторы у потребителя существовали, то немедленно от их использования отказываться не стоит. Во-первых, их можно использовать в качестве резервного источника питания электрической энергией, или же увеличить объемы генерирования ее на то время, пока ВЭУ не возьмут на себя электроснабжения в полном объеме потребностей потребителя. В отдельных случаях (особенно в случае работы дизельных электрогенераторов на биогазе) комбинированные системы генерирования электроэнергии могут использоваться и для долгосрочной эксплуатации.

ВЭУ в комбинации с фотоэлектрическими модулями можно рассматривать в качестве наиболее перспективного варианта комбинированной системы электроснабжения, которая способна конкурировать с ВЕУ и даже с микроГЭС, для ряда стран (территорий) с высоким уровнем солнечной инсоляции. Этот вариант автономного электроснабжения следует в первую очередь иметь в виду для стран (территорий) с низким ветровым потенциалом. Именно на таких территориях чаще всего наблюдается высокий уровень солнечной инсоляции. Соотношение мощностей ВЭУ и фотоэлектрических модулей следует оптимизировать, учитывая требования относительно минимизации капитальных вложений и себестоимости генерированной электроэнергии. Для условий Украины в зависимости от параметров ветрового потенциала и солнечной инсоляции такими оптимальными соотношениями мощностей ВЭУ и фотоэлектрических модулей в комбинированной системе автономного электроснабжения рассматриваются от 1:6 до 1:3, где за единицу принята мощность фотоэлектрических модулей. Очевидно, что для стран (территорий) с высоким уровнем солнечной инсоляции эти соотношения могут достигать значения 1:1. Со временем, когда подтвердятся прогнозы относительно значительного снижения стоимости фотоэлектрических модулей и станций, доля их в суммарной мощности комбинированных систем автономного электроснабжения может даже стать большей от доли ВЭУ. Одновременно следует особо отметить то, что включение фотоэлектрических модулей в комбинированные системы автономного электроснабжения совсем не приводит к усложнению их эксплуатации, поскольку обслуживание фотоэлектрических модулей по сравнению с ВЭУ является более простым, а системы аккумулирования и инвертирования электрической энергии для них используются одни и те же, что и для ВЭУ (точнее будет сказать, что и ВЭУ, и фотоэлектрические модули работают на общую систему аккумулирования и инвертирования электрической энергии).

Подытоживая основные результаты приведенного выше анализа, необходимо подчеркнуть, что для организации автономного электрообеспечения на данное время приоритетным может быть использование ВЕЭУ, или ВЭУ в комбинации с фотоэлектрическими модулями и микроГЭС (за возможности).

Анализ рынка необходимого оборудования

Приведенный в предыдущем разделе сравнительный анализ технологий, которые используются в системах автономного электрообеспечения маломощных потребителей, удостоверяет о необходимости приоритетного применения для этих целей ВЭУ или ВЭУ в комбинации с фотоэлектрическими модулями. Исходя из этого главного вывода, анализ рынка оборудования, необходимого для систем автономного электрообеспечения маломощных потребителей осуществляли лишь для ВЭУ малой мощности, подавляющее большинство которых работают именно в автономном режиме и очень редко работают параллельно с общей электрической сетью. Такие ВЭУ, как правило, имеют мощность не больше 20 кВт, а чаще всего - от 0,2 кВт до 6,0 кВт. Именно этот диапазон мощностей ВЭУ целесообразно охватить в маркетинговых исследованиях с тем, чтобы определиться с типом (моделью) ВЭУ, которая будет в состоянии наиболее эффективно и качественно выполнять поставленную задачи относительно обеспечения маломощных потребителей электричества, удаленных от общих систем централизованного электроснабжения.

Наиболее распространенные на мировом рынке ВЭУ отмеченного диапазона мощностей приведены в таблице 1. Для составления этой таблицы использованы официальные источники информации, в частности каталоги ветротехники Европейской ветроэнергетической ассоциации и веб-сайты фирм, которые специализируются на производстве таких ВЭУ.

Всего для анализа отобрано 19 ВЭУ (см. табл.1 и табл. 2) Сопоставления качественных и экономических показателей этих ВЭУ осуществляли по:

- основным техническим параметрам (мощность, скорости ветра включения, выключения ВЭУ и достижения ею номинальной мощности);
- потребительскими их характеристиками (уровень напряжения, способ выдачи энергии от ВЭУ к потребителю);
- составу комплектов поставки ВЭУ их производителями (наличие и основные технические показатели зарядных устройств, инверторов, башен);
- расчетными объемами генерирования электрической энергии, которые определяли для среднегодовой скорости 3,9 м/с на высоте стандартного флюгера $h = 10$ м, а в ряде случаев также и для башен высотой 11 м и 17 м;
- ценой комплекта ВЭУ;
- себестоимостью электрической энергии.

Комплексный анализ данных, приведенных в табл.1 и табл.2, позволяет сделать следующие выводы:

- по комплексу основных технических характеристик наибольшие преимущества имеют ВЭУ украинского производства - ВЭУ - 075 мощностью 750 Вт и ВЭУ - 3 мощностью 3 кВт. Эти ВЭУ стартуют при малой скорости ветра (2,5 м/с), быстро достигают своей номинальной мощности (ВЭУ - 075 при скорости ветра 7,5 м/с, а ВЭУ - 3 при 9,0 м/с). Это меньше, чем во всех других ВЭУ этого класса мощностей, что является главной предпосылкой для достижения более значительных удельных объемов генерирования электрической энергии. Наконец, украинские ВЭУ эффективнее всех других работают в интервале высоких скоростей ветра, в то время, как ряд ВЭУ, приведенных у табл. 1 и табл..2, выводятся из под действия ветра даже при достаточно

распространенных скоростях, которыми можно считать скорости ветра до 20 м/с. Стоит заметить, что все ВЭУ мощностью больше 20 кВт включаются лишь при росте скорости ветра выше 20-25 м/с, тогда как ряд ВЭУ, приведенных в табл.1 и табл.2, отключается при достижении ветром скорости в диапазоне от 12,0 до 20,0 м/с, что является значительным их недостатком;

- по потребительским характеристикам лучшими можно считать ВЭУ, которые выдают постоянный ток при напряжении 60 В, что приводит к уменьшению потерь электричества в кабельных линиях. Менее важным показателем является уровень напряжения в коротких кабельных линиях постоянного тока, когда его инвертирование (превращение) на переменный с напряжением 220 В происходит вблизи ВЭУ. Как видим из данных табл. 1, украинские ВЭУ в кабельных линиях постоянного тока имеют напряжение 60 В. Кроме того, в этих ВЭУ предусмотрено, что основная часть объемов электричества, выработанной ВЭУ как постоянный электрический ток, инвертируется в переменный с напряжением 220 В;

- как видим из данных табл. 1 и табл.2, за исключением ВЭУ украинского производства значительным недостатком маломощных ВЭУ по составу комплекта поставки, является то, что значительная часть их не комплектуется башнями. Как свидетельствует украинский опыт, это приводит к тому, что потребитель (заказчик) вынужден делать нужную ему башню самостоятельно. Но поскольку чаще всего он не владеет методикой расчетов башен, то она у него нередко не будет иметь достаточной прочности, что рано или поздно приводит к поломке и не только башни, но и всей ВЭУ, из-за чего владелец ВЭУ несёт значительные убытки или даже полную потерю работоспособности ВЭУ. Еще одним из важных недостатков комплектации ряда маломощных ВЭУ есть отсутствие у них инвертора. В таких случаях потребитель ограничивается лишь использованием постоянного тока, а потому он не может использовать для обеспечения своего комфорта ряд видов бытовой техники, которая работает от переменного тока. Такой техникой, в частности, является большинство современных бытовых холодильников, морозильников, пылесосов и тому подобное. Существенные ограничения для использования подобной техники вносит также применение инверторов с так называемым “пилообразным” (не синусоидальным) профилем напряжения тока. Отметим, что таких изъянов ВЭУ украинского производства не имеют;

- по показателям расчетных объемов генерирования электрической энергии (как по абсолютным значениям, так и, особенно, по удельным), ВЭУ украинского производства при одинаковых значениях ветрового потенциала вне всякой конкуренции с ВЭУ других производителей. Так ВЭУ-075 обеспечивает производство электрической энергии в объемах существенно больших, чем ВЭУ мощностью до 1,0 кВт других фирм. Аналогичным способом, ВЭУ - 3 электрической энергии производит почти в 1,5 раза больше, чем ВЭУ модели SG 400, которая имеет такую же мощность, и незначительно меньше от ВЭУ модели SG 500, мощность которой в 2 раза больше;

- по абсолютным и удельным ценовым показателям ВЭУ украинского производства также вне конкуренции при сравнении их с ВЭУ других производителей. Как видно из табл.1 и табл.2, при учёте в комплекте даже

ООО НПО «ПланЭКО»

минимальных значений стоимости башни и инвертора имеем, что ВЕУ - 075 дешевле, даже чем ВЭУ значительно меньшей мощности! Такая же ситуация и для украинской ВЭУ-3: по цене она дешевле, других ВЕУ, начиная с мощности 1,0 кВт и более. При чем ее цена по сравнению с ценой ВЭУ модели SG 400, которая имеет такую же мощность, почти в 3 раза ниже!

• по себестоимости генерируемой электрической энергии ВЭУ украинского производства в классе маломощной ветротехники, предлагаемой на мировом рынке, также вне любой конкуренции.

Расчеты себестоимости электрической энергии, генерируемой ВЭУ, осуществляли по формуле:

$$C = \frac{ВП}{E \cdot T}, \text{ где}$$

ВП - полные расходы средств в течение срока эксплуатации ВЭУ, дол. США;
E - средние годовые объемы генерирования ВЭУ электрической энергии, кВт•час/год;

T = 30 лет, срок эксплуатации ВЕУ.

Для возможности сравнения себестоимости электрической энергии, генерируемой маломощными ВЭУ разной комплектации, при расчетах ее величин были сделаны следующие предположения:

- для ВЭУ, относительно которых в фирменной информации не приведены данные о стоимости башни, учитывали минимально возможную ее цену - 400 дол. США (это уровень цены башни высотой 11 м украинского производства). Поскольку реальная цена всех башен ВЭУ неукраинского производства всегда больше чем 400 дол. США, то и реальная себестоимость генерирующей электрической энергии будет несколько большей;

- расходы средств на монтаж ВЭУ, ее налаживание и обслуживание на протяжении 30-летнего срока эксплуатации приняли на уровне 50% от стоимости полного комплекта оборудования. Стоит отметить то, что значительная часть ВЭУ неукраинского производства не способна выдержать эксплуатацию на протяжении 30 лет, то есть реальные себестоимости генерируемой ими электрической энергии, учитывая также и это обстоятельство, будут, безусловно, большими.

Результаты расчетов себестоимости электрической энергии, полученной при использовании разных ВЭУ, удостоверяют, что ее величина зависит в значительной мере и от естественных условий, а именно от скорости ветра (среднегодовой) на площадке использования ВЭУ. Так, в случае использования ВЭУ-075 на площадке со среднегодовой скоростью 6,0 м/с себестоимость электричества будет составлять приблизительно 0,02 долл./кВт•час, тогда, как в случае использования ее на площадке со среднегодовой скоростью 3,9 м/с - около 0,04 долл./кВт•час. Еще лучшие показатели себестоимости электрической энергии обеспечат ВЕУ-3 украинского производства.

Нужно подчеркнуть то, что по себестоимости генерируемой электрической энергии все маломощные ВЭУ всегда будут конкурентоспособны с маломощными дизельными и бензиновыми электростанциями. В частности для условий Украины себестоимость электрической энергии, генерированной

ООО НПО «ПланЭКО»

бензиновыми электростанциями Honda EZ-220, Geko E-N NHBA, SDMO AVENGER 2500, составляет соответственно 0,24; 0,29 и 0,23 долл./кВт•час. Понятно, что в странах с большей ценой на привозное горючее себестоимость электрической энергии, генерируемой такими электростанциями будет еще большей.

Одновременно отметим, что по себестоимости электрическая энергия, полученная при использовании ВЭУ украинского производства, не превышает уровень себестоимости и тарифов на нее в национальных энергетических системах большинства развитых стран мира, что в случае равенства других экономических условий будет позволять индивидуальным производителям в Украине и в странах третьего мира создавать почву для конкурентоспособности их товаров и услуг на мировом рынке.

Среди причин, которые обеспечили достижение украинскими ВЭУ высокого уровня технико-экономических показателей и конкурентоспособности в классе маломощных ВЭУ, в первую очередь следует назвать использования лучших, мирового уровня достижений в сфере конструирования ветротехники большой мощности, более эффективных кинематических и электрических схем, а также применения украинских “ноу-хау” в области аэродинамики и конструкции лопастей и ветровых турбин в целом. Все эти эффективные технические решения при низкой стоимости рабочей силы в Украине позволили достичь чрезвычайно привлекательных для массового потребителя цен на ВЭУ даже при мелкосерийном их производстве. По мере нарастания масштабов производства этих ВЭУ в Украине цена может даже уменьшаться тогда, как цены на ВЭУ этого класса мощности у других производителей лишь неуклонно растут.

Среди других важных причин лидерства маломощных украинских ВЭУ на мировом рынке следует указать на то, что их производители из всех других стран на данное время используют преимущественно крайне морально устарелые технические и схемные решения относительно конструкции маломощных ВЭУ. Эти производители свои производственные мощности дислоцируют в развитых странах, территории которых полностью электрифицированы. Из-за этого на данное время в таких странах отсутствует массовый потребитель на маломощные ВЭУ для автономного электрообеспечения и потому производители таких ВЭУ не заинтересованы в их усовершенствовании. ВЭУ этого класса мощности разрабатывались в основном в 60-70-х годах прошлого века и до этого времени практически не модернизировались из-за крайне низкого спроса на мировом рынке маломощной ветротехники. В то же время ветротехника большой мощности достаточно интенсивно совершенствовалась и достигла намного лучших технических и экономических показателей и поэтому на мировом рынке она до настоящего времени имеет и будет иметь и в дальнейшем большой спрос. Кроме того, покупателями ветротехники большой мощности были и есть зажиточные потребители из преимущественно богатых стран. Но основной массовый потенциальный потребитель маломощной ветротехники проживает в бедных странах третьего мира, он бедный и приобретение им неэффективной ветротехники, которой является маломощные ВЭУ, ставит его в невыгодные конкурентные условия, потому что из-за высокой себестоимости электрической энергии, полученной помощью таких ВЭУ, услуги и продукция, которые будут

ООО НПО «ПланЭКО»

предоставлены или произведены им с использованием дорогой электроэнергии, никогда не смогут конкурировать на мировом рынке соответствующих продукции и услуг. Эту неблагоприятную ситуацию можно изменить в лучшую сторону лишь в случае приобретения более эффективной ветротехники, которая по технико-экономическим показателям способна конкурировать с современной ветротехникой большой мощности. Решить такое задание возможно, если использовать ветротехнику украинского производства, в частности ВЭУ-075 и ВЭУ-3.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Сравнительный анализ оборудования и технологий, применение которых для систем автономного электроснабжения является потенциально возможным, свидетельствует, что лучших технико-экономических результатов и надежности энергообеспечения маломощных потребителей можно достичь при использовании ВЭУ и систем на базе ВЭУ в комбинации с солнечными фотоэлектрическими батареями.
2. Сравнительный анализ маломощных ВЭУ позволяет сделать вывод, что по технико-экономическим показателям на мировом рынке этой ветротехники лучшими является ВЭУ украинского производства моделей ВЭУ-075 и ВЭУ-3 мощностью соответственно 0,75 кВт и 3,0 кВт. Именно эти ВЭУ рекомендуются для сооружения объектов автономного электроснабжения маломощных потребителей электричества.