

УДК 621.313

## НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В СТРАНАХ С «НИЗКИМ ВЕТРОВЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ»

*Анчевский Д.П.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ОЛЕШКЕВИЧ М.М.

Потребность в освоении возобновляемых источников энергии и ветроэнергетики в частности объясняется возрастающим спросом на топливо (особенно на нефть и газ), ростом населения и требований к уровню жизни, ухудшающейся экологической обстановкой на планете вследствие сжигания топлива. Важным последствием освоения возобновляемых источников энергии может стать повышение военной безопасности на планете, потому что большинство войн и военных конфликтов 20 и 21 столетий возникли в борьбе за владение энергоресурсами.

Освоение возобновляемых источников энергии и в особенности ветроэнергетики особенно важно для Беларуси с точки зрения обеспечения энергетической безопасности страны в связи недостатком собственных энергетических ресурсов – обеспеченность ими лишь на 15 %, быстрого роста цен на импортное углеводородное топливо, насыщенности энергоемкими промышленными предприятиями и большим промышленным потреблением энергии и топлива.

**Состояние ветроэнергетики.** Ветроэнергетика является сложившимся направлением энергетики. Производятся и работают ветроэнергетические установки от нескольких сотен ватт до тысяч киловатт. Большая часть установок используется для производства электроэнергии – в энергосистеме или автономно.

В 2006 году установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) в мире составила 69 млн. кВт. В Европе установлено 48,5 млн. кВт и произведено – более 100 млрд. кВт·ч электроэнергии или 3,3 % общего потребления электроэнергии европейских стран.

Германия является лидером в развитии ветроэнергетики и в производстве оборудования для ветроэнергетики. Установленная мощность ВЭС в Германии 20,6 млн. кВт, производство ветроэлектроэнергии – 6 % собственного производства электроэнергии. Установленная мощность и выработка электроэнергии ВЭС в других лидирующих странах: Испания – 11,6 млн. кВт и 8 % производства, США – 11,6 млн. кВт, Индия – 6,3 млн. кВт, Дания – 3,1 млн. кВт и 16 % производства, Китай – 2,6 млн. кВт, Франция и Канада – по 1 млн. кВт. Предполагается, что мощность ветроэлектростанций Европы к 2010 году будет более 60 млн. кВт.

В странах Восточной Европы ветроэнергетика находится на зачаточном уровне. Причина отставания развития ветроэнергетики – это то, что пик развития мировой ветроэнергетики совпал с крушением мировой социалистической системы и тяжелым экономическим кризисом в Восточной Европе. Дополнительно развитию ветроэнергетики препятствовали сложившиеся прототипы – мифы о ветроэнергетике. Главный миф. Ветроэнергетика дорога и неконкурентоспособна. Ветроэнергетический потенциал страны незначителен. Районы со среднегодовой скоростью ветра менее 5 м/с малопривлекательны для размещения ВЭС, и только районы со скоростью ветра 8 м/с и выше – хороши для внедрения ветроэнергетики.

Таким образом, от ветроэнергетики отлучаются, все страны с «низким ветровым потенциалом». Это страны Прибалтийско-Черноморского региона, куда относится и Беларусь. Однако, расширение мирового рынка ветроэнергетики уже привело к значительному падению цен на энергию, производимую ветром за последнее десятилетие

1 кВт·ч подешевел, как минимум, в 2 раза. При расположении ВЭС на площадках с хорошим ветровым режимом, производимая ими электроэнергия оказывается дешевле, чем энергия угольных, газовых и атомных станций. Кроме того, если бы скрытые издержки, связанные с воздействием на окружающую среду и здоровье людей при использовании ископаемого топлива и ядерной энергии, были включены в стоимость электроэнергии, выработка электричества ветровыми электростанциями оказалась бы еще дешевле. Треть электроэнергии в мире к середине текущего столетия может производиться за счет энергии ветра. При этом цены на энергию, производимую за счет ветра, падают с ростом объемов её производства. Единичные мощности ВЭУ выросли за последние 30 лет с 20 кВт до 3 000 кВт для серийных машин и до 5 МВт для отдельных ВЭУ. Стоимость единицы установленной мощности ВЭУ за это же время уменьшилась с 5 000 долларов до 600(?) долларов за киловатт. Для сравнения: стоимость строительства атомных электростанций составляет около 2 000–2 500 долларов за киловатт установленной мощности, тепловых топливосжигающих электростанций – 600–1 000 долларов без учета стоимости топлива и экологических издержек.

Миф 2. Ветроэнергетика не сможет достичь высокого уровня развития.

Миф 3. Ветровая энергетика неустойчива из-за нестабильности ветрового потока.

Миф 4. Ветроэнергетика наносит ущерб природе и здоровью людей.

**Польша.** Мощность действующих ВЭС составляет 108 тыс. кВт. Выработка электроэнергии – 280 млн. кВт·ч в год. Благодаря отличным ветровым условиям и стимулирующему законодательству Польша является одним из наилучших рынков ветроэнергетики в Европе. Средняя скорость ветра на высоте 50 м находится в пределах 5,5–7 м/с. Производительность ВЭУ мощностью 2 МВт равна 5 000 МВт·ч. Согласно атласу ветров на северо-западе есть зоны, где среднегодовая скорость ветра превышает 6 м/с на высоте 10 м, а на большой территории на Балтийском побережье и в центре страны – 5 м/с. Собственные компании (NOWOMAG и KOMAG) производят небольшие ВЭУ мощностью до 160 кВт и готовят выпуск ВЭУ мощностью 1 МВт.

**Украина.** Общая установленная мощность ВЭС – более 53 тыс. кВт, производство электроэнергии около 140 млн. кВт·ч. Украина обладает высоким ветровым потенциалом. Перспективные для ветроэнергетики площади со скоростью ветра 5–6 м/с и выше прилегают к Черному и Азовскому морям. В Прикарпатье и Закарпатье, на Донецкой возвышенности и в Днепропетровской области находятся обширные территории со скоростью ветра 4,5–5 м/с. Их использование для целей ветроэнергетики может обеспечить производство 20–30 % требуемой электроэнергии. Для внедрения ветроэнергетики пригодно более 40 % территории. Существует национальная программа развития ветроэнергетики.

**Латвия** имеет очень хороший потенциал для развития ветроэнергетики. Установленная мощность ВЭУ на сегодняшний день 25 тыс. кВт. ВЭС не могут конкурировать с тепловыми и гидроэлектростанциями по критерию затрат? На основании Программы развития возобновляемых источников энергии Наилучшими местами для установки ВЭС являются западный берег и восточная часть Рижского залива. Скорость ветра там превышает 5 м/с, а местами достигает 6 м/с. Согласно законодательству цена на электроэнергию от возобновляемых источников энергии, установленных до 2003 года 0,11 евро за 1 кВт·ч.

**Литва.** Общая установленная мощность ВЭС – более 6 тыс. кВт. Литва обладает высоким ветровым потенциалом. Перспективные для ветроэнергетики площади со скоростью ветра 5–5,5 м/с и выше прилегают Балтийскому побережью. Это районы Паланги, Клайпеды, Куршская коса, западные районы. Ветровые ресурсы могут быть использованы на 10 % территории. Большой потенциал обеспечит использование прибрежных зон, но развитие ветроэнергетики морского базирования пока не планируется. В сред-

ней части страны ветровой потенциал составляет 3,5–4 м/с. Существует национальная программа развития ветроэнергетики. К 2010 году планируется установить ВЭС общей мощностью 170 тыс. кВт. Они сэкономят 3500 т нефтепродуктов, уменьшат выбросы углекислого газа на 11 тыс. т, двуокиси серы на 140 т, окиси азота на 12 т и 3 т твердых частиц.

**Словакия.** Ветровой потенциал относительно невелик и составляет около 3 % потенциала возобновляемых источников энергии. Мощность действующих ВЭУ составляет 5 МВт. Отсутствует информация о заинтересованности в развитии ветроэнергетики, что является наибольшим препятствием в ее развитии. Практически ветроэнергетики нет.

**Беларусь.** В атласе ветров отмечены главные зоны, где среднегодовые скорости ветра составляют 4–5 м/с. Это районы, расположенные на Минской возвышенности в направлении от Минска на запад в сторону Гродно и Новогрудка, восточные районы вдоль направления Витебск – Полоцк, северные районы на границе с Латвией, районы Пинска, Кричева Климовичей. В Беларуси действует несколько небольших опытно-промышленных ветроэнергетических установок и одна ВЭС в составе двух установок мощностью 250 и 600 кВт. Долгое время считалось, что применение ветроэнергетики не выгодно из-за низких фоновых скоростей ветра. Последние исследования показали, что на территории страны существуют зоны, площадки на возвышенностях и на высотах, где среднегодовые скорости ветра составляют 4,8–6,2 м/с и на которых могут быть установлены ВЭУ, обеспечивающие достаточную выработку электроэнергии для обеспечения окупаемости. Таких площадок исследователи насчитывают около 2 000. Появление на рынке ветроэнергетической техники установок континентального базирования мощностью 1 500 кВт с возможностью установки на высоте 90–110 м в принципе изменяет возможности ветроэнергетики в стране. Оказывается, что страна располагает значительными ветроэнергетическими ресурсами, достаточными для обеспечения 10–20 % требуемой электроэнергии при полной окупаемости затрат на создание ВЭС.

Расчеты показывают технико-экономическую целесообразность строительства ветроэлектростанций на территории Беларуси. Низкий ветроэнергетический потенциал указывает на невозможность повсеместного расположения ВЭС, а на необходимость их строительства в местах, где скорость ветра обеспечивает экономическую выгодность проектов.

Наиболее предпочтительными вариантами первоочередного строительства ВЭС по срокам окупаемости и выработке электроэнергии являются варианты расположения ВЭС на высотах в Гродненской, Витебской и Минской областях, где среднегодовая скорость ветра превышает величину 5,1 м/с. При выборе типа ветроэнергетической установки для ВЭС на территории Беларуси следует иметь ввиду следующие принципы.

ВЭУ 1 500 кВт, имеет серьезные технико-экономические преимущества перед менее мощными установками – меньшие относительные эксплуатационные затраты и затраты на создание инфраструктуры.

ВЭУ 1 500 кВт обеспечивает более эффективное использование ветрового потока, особенно с увеличением высоты мачты до 110 м.

ВЭУ 1 500 кВт обеспечивает наиболее перспективное использование перспективных площадок.

Мировой практикой определен типоряд ветроустановок континентального базирования В12 номинальной мощностью от 1 кВт до 1,5 МВт с расчетной скоростью ветра от 12 до 15 м/с, типоряд В15 – установок прибрежного и морского базирования с расчетной скоростью ветра 15 м/с. Определен также типоряд В6, В8, В10, соответствующий ветровым климатическим зонам, характерным для равнинно-холмистой местности Прибалтийско–Черноморского региона (куда также относится Беларусь), со

среднегодовыми фоновыми скоростями ветра до 3,5; 3,5–4,0; 4,0–4,5; 4,5 м/с. Для установок типоряда В6, В8, В10 номинальная расчётная скорость ветра соответственно находится в диапазонах 6–8; 8–10; 10–12 м/с.

Целесообразен выбор ВЭУ с расчетной скоростью ветра 11 м/с и высотой опоры 110 м. Для ВЭС может быть использована ВЭУ Nordex S77:  $P_y = 1,5$  МВт,  $V_p = 11,1$  м/с,  $H = 110$  м. Принятая в расчётах стоимость ВЭУ 1 300 долл/кВт требует уточнения в официальном представительстве фирмы Nordex.

Целесообразен выбор ВЭУ с прямоприводным синхронным генератором, как наиболее надёжный вариант, или применение асинхронного генератора двойного питания.

Предпочтительно соединение ВЭУ с сетью через статический преобразователь частоты, который обеспечивает возможность работы ВЭУ с переменной частотой вращения и упрощает пусковые процессы.

При проектировании ВЭС следует предусмотреть возможность ее расширения и соответственно выбирать элементы электрической схемы связи с энергосистемой.

Не следует внедрять ВЭУ мощностью менее 1 МВт, демонтируемые в европейских странах в связи с техническим перевооружением мировой ветроэнергетики и предлагаемые на рынке ветроэнергетики. Оценочные расчёты показывают, что затраты на демонтаж, транспортировку и последующий монтаж таких ВЭУ перекрывают более низкую их стоимость. Ограниченное количество перспективных площадок следует заполнять установками максимальной мощности. Следует внедрять только современные ВЭУ мощностью 1 000–1 500 кВт континентального базирования.

При проектировании ВЭС должно быть учтено: наличие построек, хозяйственных или других объектов на территории площадок или вблизи, наличие лесных массивов, кустарника, крупных водоемов, наличие в радиусе 10 км линий электропередачи ЛЭП 6, 10, 35, 110 кВ и проверена возможность подключения ВЭУ 1 500 кВт и необходимость реконструкции действующей ЛЭП.

Окончательное решение о строительстве и конструктивных особенностях ВЭС может быть принято после проведения проектно-изыскательских работ с выполнением контрольных измерений ветрового режима на предполагаемых площадках специализированной метеорологическими службой.

УДК 621.316

## АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВЫБОР МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

*Кирснун А.Ю.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Электроснабжение промышленных потребителей напряжением до 1 кВ обычно осуществляется от одно-, двух- и трехтрансформаторных подстанций. Однотрансформаторная подстанция предусматривается для питания электроприемников III-й категории. Нагрузка трансформатора однотрансформаторной подстанции должна быть примерно равна номинальной мощности (но не превышать ее). Номинальная мощность трансформатора  $S_H$  (кВА) определяется по выражению

$$S_H = \frac{S_p}{k_3}, \quad (1)$$