

проса, перед нами открываются большие перспективы в развитии нового направления энергетики, которое будет удовлетворять многим современным требованиям.

### Литература

1. Основы энергосбережения: цикл лекций / Под ред. Н.Г. Хутской. – Минск: Технология, 1999. – 100 с.
2. Энергия для человека / Под ред. Е. Рылевский. – Польша: KLIMUK, 2003. – 79 с.

УДК 621.313

## О ВОЗМОЖНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В БЕЛАРУСИ

*Лобусь А.Н.*

Научный руководитель – ПРОКОПЕНКО Л.В.

Беларусь в малой степени располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь около 15 % потребности страны покрывают собственные ТЭР. Остальные 85 % импортируются, причем в основном из России. При этом в последние годы наблюдается постоянный рост цен на импортируемое топливо и электроэнергию. Этот рост будет иметь место и в дальнейшем, достигнув, в конце концов, уровня мировых цен. Практически единственным не импортируемым источником энергии в Республике Беларусь является ветер. Оценочные расчеты показывают, что ветропотенциал Белоруссии, технически пригодный к использованию, составляет 300–400 млрд. кВт·ч в год [1].

В настоящее время, несмотря на принятое на государственном уровне решение о приоритетном развитии работ по использованию местных видов топлива и возобновляемых источников энергии, эффективность соответствующих разработок и результаты их внедрения не удовлетворяют необходимым требованиям. А одним из эффективных путей реализации указанного решения может стать развитие белорусской ветроэнергетики с учетом опыта ряда стран со сходными климатическими условиями. Мировой практикой определен следующий типологический ряд (типоряд) ветроэнергетических установок: В6, В8, В10, В12 и В15 с номинальной мощностью в диапазоне от 1 кВт до 1,5 МВт. Типоряд ветроустановок по В6, В8, В10 соответствует ветровым климатическим зонам (II, III, IV), характерным для равнинно-холмистой местности Прибалтийско-Черноморского региона, к которому относится также Беларусь – со среднегодовыми фоновыми скоростями ветра по зонам до 3,5; 3,5–4,0; 4,0–4,5 и более 4,5 м/с [2, 3].

По оценкам НПП «Ветромаш», РУП «Белэнергосетьпроект» и Госкомитета по гидрометеорологии в случае применения в Беларуси широко используемых за рубежом ветроустановок с коэффициентом использования энергии ветрового потока (0,25–0,4) континентального базирования технические ветроэнергетические ресурсы Беларуси составляют более 280 млрд. кВт·ч.

Анализ ветроэнергетического кадастра страны показывает, что только в Минской области насчитывается 1 076 таких площадок с распределением среднегодовой скорости ветра 6,8–8,1 м/с на уровне оси ветроколеса относительно уровня земли 55 м. Из них при условии освоения 1 % экономического ветроэнергетического потенциала под первоочередное строительство 945 ветроустановок мощностью не ниже 1 000 кВт приходится 252 строительные площадки – в основном под ветроэнергетические станции. Средне годовая выработка этих ветроустановок в статистическом распределении вре-

мени работы в номинальном режиме от 2 500 до 3 300 часов в год на срок эксплуатации составляет 2 676 млн. кВт·ч. Соответственно среднегодовая экономия топлива составит более 800 тыс. тонн. Положительные результаты эксплуатации ветротехники континентального базирования в сходных с Беларусью климатических условиях позволяют рассчитывать на то, что в нашей стране вполне возможно обеспечить заметные объемы поставок электроэнергии от ветроустановок в электрические сети энергосистемы.

Сроки окупаемости капитальных вложений в ветротехнику сопоставимы со сроками окупаемости малых гидроэлектростанций, парогазовых и газомазутных электростанций и значительно ниже сроков окупаемости угольных, атомных и дизельных электростанций.

Ветроустановки не требуют больших капитальных единовременных вложений, после окончания монтажных работ сразу же начинают вырабатывать энергию, а после исчерпания ресурса работы демонтируются и заменяются новыми. Комиссией по координации использования ВИЭ в АПК при НАН РБ проведен поиск потенциальных производителей отдельных узлов, систем и агрегатов ветроустановок (лопасти, редукторы, электрогенераторы, системы управления и проч.). Серьезную заинтересованность в этом плане выказали Барановичский авиаремонтный и Кобринский инструментальный заводы, «Белкоммунмаш», некоторые частные предприниматели, а также представители сельскохозяйственной отрасли. Надо заметить, что так как среднегодовая скорость ветра составляет 5–7 м/с, то большинство ВЭС зарубежного производства не будут работать, следовательно, надо ориентироваться на отечественного производителя. Среди предприятий стран СНГ серийно выпускает такие установки только одно предприятие в Хабаровске (компания «ЛМВ Ветроэнергетика»), и малые серии производят на Украине в г. Харькове и Киеве. Существует большое количество прогрессивных разработок и опытных образцов, малых ВЭС, которые можно было бы запустить в серийное производство уже сейчас. Одна из таких разработок – ВЭС с вертикально расположенным ротором (WEI Windrotor) имеет уникальные характеристики, может работать при любых направлениях и скоростях ветра, как малых (от 3,5 м/с), так и ураганных. Она проста в установке и техническом обслуживании, поскольку основное оборудование расположено на поверхности земли. Другая разработка, ветроэлектростанция с диффузором (ВЭУД-1), имеет стандартные характеристики при вдвое меньших размерах ветроколеса и сверхнизких скоростях ветра (до 3 м/с). При скоростях ветра 5 м/с она развивает номинальную мощность 1 кВт. Разработан целый ряд этих ВЭС, отличающихся размерами лопастей и величиной мощности (от 0,25 до 10 кВт). Заявленная стоимость киловаттной установки – 1 500 долл.

С начала развития ветроэнергетики возникали вопросы об экологии ВЭУ [4]. Особенно опасны в этом отношении агрегаты небольшой мощности до сотни киловатт, характеризующиеся высокой частотой вращения лопастей, что служит препятствием для прямого пролета птиц. С увеличением мощности ВЭУ падает и частота вращения, в настоящее время частота вращения установки мощностью 1–2 МВт составляет от 10 до 30 об/мин, а у ВЭУ 3–4,5 МВт – 8–14 об/мин. По этому поводу есть утверждение, что ВЭУ для птиц значительно менее опасны, чем высоковольтные линии электропередач.

В целом ВЭУ не слишком шумные машины по сравнению с другими механизмами соизмеримой мощности. Шум обычно представляет проблему, но он значительно снижен за счет применения «тихих» редукторов, подъема основного оборудования на значительную высоту и применения звукоизолирующих материалов в гондоле. Уровень шума зависит от формы лопастей, взаимодействия воздушных потоков с лопастями и башней, от формы кромки лопасти, от формы кончиков лопастей, от типа регулирования ВЭУ (поворотной-лопастная или без поворота лопастей), от условий турбулентности воздуха.

ВЭУ должны располагаться на таком расстоянии от жилых домов, чтобы шум не превышал допустимые нормы; уровень шума работающей ВЭУ до 45 дБ в дневное время, 35 дБ ночью.

Данное расстояние по результатам исследований должно составлять примерно 300 м.

Таким образом, можно сделать вывод, что в нашей стране развитие ветроэнергетики является не только возможным, но и экономически целесообразным направлением развития энергетики.

### Литература

1. Лаврентьев, Н.А., Жуков, Д.Д. Белорусская ветроэнергетика – реалии и перспективы // Энергия и менеджмент. – 2002. – № 3. – С. 12–17.
2. Методические указания по обоснованию и разработке схемы размещения площадок под ветроэнергетические установки на территории Республики Беларусь / НИР № 12488. Руководитель к.т.н. Пекелис В.Г. – Минск: НИПИ «Белэнергосетьпроект», 1995
3. Формирование информационного банка данных по ветроэнергетическому потенциалу в зонах предполагаемого внедрения ветроустановок / НИР № 06.4.1. Руководитель к.т.н. Шадурский Г.П.; ГНТП тема «Жилищно-коммунальное хозяйство». – Минск: НППП «Ветромаш», 1998.
4. Сергеев, Г.С. Современный ветропарк: аргументов против почти не осталось // Чистая энергия. – 2006. – № 1. – С. 26–29.

УДК 621.313.2:629.113.62

## КРИВЫЕ НАМАГНИЧИВАНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ АППРОКСИМАЦИЯ

*Равино В.В., Сацукевич В.Н., Галямов П.М.*

**Введение.** Динамическая нагруженность трансмиссий троллейбусов в значительной степени определяется характером протекания переходного процесса трогания.

За весь пробег троллейбуса до списания, установленный в 600 тыс. км, процессы трогания повторяются более  $6 \cdot 10^5$  раз. При этом в трансмиссии возникают динамические нагрузки, приводящие к снижению срока службы зубчатых колес главной передачи троллейбуса, средний срок службы которых для троллейбуса модели ЗИУ-9В составляет 45 тыс. км [1]. Таким образом, в существующих троллейбусах процесс трогания протекает неудовлетворительно с точки зрения динамической нагруженности трансмиссии и нуждается в корректировке.

**Постановка задачи.** Характер переходного процесса в силовом агрегате автотранспортных средств определяется характеристиками двигателя и системы управления им [2]. Следовательно, снижать динамическую нагруженность трансмиссии троллейбуса при трогании возможно путем синтеза рациональных законов управления крутящим моментом тягового электродвигателя в этот период. Решением поставленной задачи могла бы стать система автоматического управления крутящим моментом тягового электродвигателя, однако она сложна в реализации. Поэтому на троллейбусах используют электропривод с обратной связью по току якоря тягового электродвигателя. При этом автоматически поддерживается ток якоря тягового электродвигателя на заданном уровне при изменении скорости троллейбуса с нуля вплоть до выхода тягового электродвигателя на естественную характеристику за счет увеличения напряжения, подводимого к якорной цепи. Т. к. в этот период разгона троллейбуса выбирается окружной люфт трансмиссии, то для исследования переходного процесса трогания доста-