

## ОПТИМАЛЬНЫЙ ТИП ВЕТРОГЕНЕРАТОРА ПРИ МАЛОЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

А. С. Каледник

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Н. А. Попкова

*Рассмотрены преимущества и недостатки основных типов ветроэнергетических установок. Проведен расчет мощности ротора Дарье и горизонтально-осевого ветрогенератора.*

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ротор Дарье, ротор Савониуса, концентратор, эффективность.

Ветроэнергетика является одним из наиболее перспективных направлений возобновляемой энергии в Республике Беларусь. В стране выявлено более 1840 площадок, подходящих для промышленных ветростанций с суммарным теоретическим потенциалом более 1600 МВт [1]. Законодательством установлен ряд комплексных планов развития и мер стимулирования возобновляемой энергетики, что является частью политики обеспечения энергетической безопасности государства.

Средняя скорость ветра в Беларуси составляет 3–4.4 м/с на высоте 10 м [2]. Для эффективной работы ветрогенераторов требуются показатели – не менее 5–6 м/с. В связи с относительно низкой средней скоростью ветра возникает необходимость рассмотреть перспективу использования различных ветроэнергетических установок малой мощности. На сегодняшний день разработано множество ветроэнергетических установок (ВЭУ).

Целью данного исследования является определение оптимального типа ветроэнергетической установки при малой скорости ветра. Под малой скоростью ветра подразумеваются значения от 3 до 5 м/с, так как именно они характерны для большей части территории Беларуси. Задачи исследования включают следующее:

- 1) ознакомиться с основными типами конструкций ВЭУ;
- 2) выявить преимущества и недостатки данных конструкций;
- 3) привести сравнительную характеристику ротора Дарье и горизонтально-осевой ВЭУ пропеллерного типа.

Рассмотрим основные виды конструкций ВЭУ (рис. 1), предлагаемые для использования при малой скорости ветра.

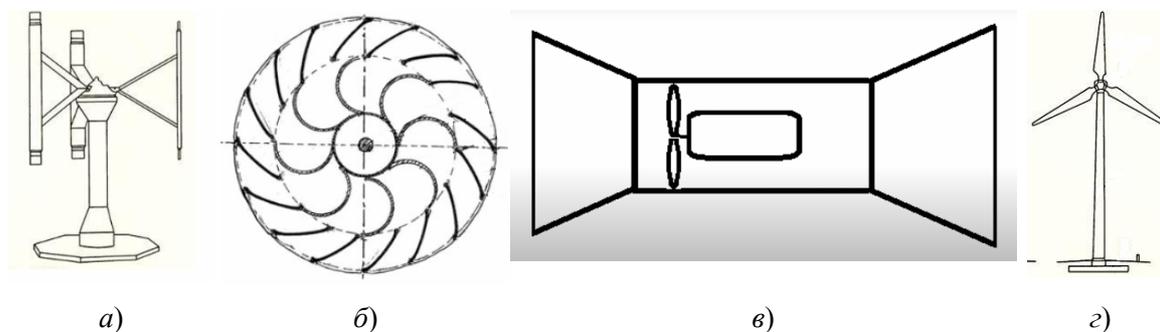


Рис. 1: Основные виды конструкций ветроэнергетических установок:  
а – ротор Дарье; б – многолопастный ротор Савониуса с воздухозаборниками;  
в – конфузор-диффузор; г – ветрогенератор пропеллерного типа

Ротор Дарье представляет собой симметричную конструкцию, состоящую из двух и более аэродинамических крыльев, закрепленных на радиальных балках. На каждое крыло, движущееся относительно потока, действует подъемная сила, величина которой зависит от угла между векторами скорости потока и мгновенной скорости крыла. Основными преимуществами работы ротора Дарье, как и большинства вертикально-осевых ВЭУ, являются независимость от изменения направления ветра и отсутствие сложных механизмов защиты, в то время как в горизонтально-осевой ВЭУ пропеллерного типа необходима система винтрегулируемого шага, что усложняет конструкцию. Коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ) не зависит от оси вращения и для ротора Дарье, как и ВЭУ пропеллерного типа, составляет в среднем 45 % [3]. Тем не менее ротор Дарье при одинаковой материалоемкости значительно уступает пропеллерному ветрогенератору по площади ометания  $S$ , которая пропорциональна мощности ветрового потока  $P$ :

$$P = 0,6 \cdot Sv^3.$$

**Сравнительная таблица мощностей ротора Дарье и ветроколеса с одинаковой материалоемкостью**

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6
Мощность ветроколеса, Вт	3,39	27,13	91,56	217,04	423,9	732,5
Мощность ротора Дарье, Вт	1,08	8,64	29,16	69,12	135	340,44

Расчеты произведены для ротора Дарье и горизонтально-осевой ВЭУ пропеллерного типа, имеющих по три одинаковых крыла длиной 2 м. КИЭВ принят за 45 %. Потери в подшипниках и передачах не учитывались.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что ротор Дарье значительно уступает ветроколесу по вырабатываемой мощности, материалоемкости и, как следствие, – имеет более длительный срок окупаемости.

Ещё одной вертикально-осевой турбиной является ротор Савониуса. Вращающий момент возникает при обтекании ротора Савониуса потоком воздуха за счет разного сопротивления выпуклой и вогнутой частей. Достоинствами ротора Савониуса являются простота конструкции, низкий уровень шума, независимость от направления ветра. Однако он обладает низкой аэродинамической эффективностью. КИЭВ не превышает 0,18–0,24; КПД составляет 17–18 % [4]. Очевидно, при малой скорости ветра вырабатываемая мощность ротора Савониуса будет незначительной. Для увеличения энергетических характеристик турбины требуется добавление дополнительных устройств, усиливающих поток воздуха (например, воздухозаборники), что может значительно увеличить стоимость установки, усложнить эксплуатацию.

Концентраторы ветрового потока представляют собой конфузورные или диффузорные конструкции, устанавливаемые рядом с рабочим колесом ветрогенератора. На практике оказалось, что такая установка является экономически и технически неэффективной. Прирост в скорости составляет только 8–10 %. Неэффективность концентратора объясняется парадоксом сужающейся воронки.

Ожидается, что поток воздуха будет полностью проходить через сужающую воронку и ускоряться. Однако на входе в конфузур возникает область повышенного давления, которая тормозит набегающий поток воздуха, заставляет его огибать воронку с внешней стороны. На выходе концентратора давление уменьшается, ком-

пенсирюя торможение воздуха на входе. Для увеличения эффективности требуется громоздкая конструкция, что является экономически невыгодным и сложным технически.

Таким образом, в ходе исследования самым оптимальным типом ветрогенератора при малых скоростях ветра признана горизонтально-осевая ВЭУ малой мощности. Это обусловлено использованием ею максимальной площади ометания при наименьшей материалоемкости.

#### Литература

1. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>.
2. Викторovich, Н. В. Исследование эффективности использования энергии ветра на территории Брестской области Республики Беларусь / Н. В. Викторovich // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 117–121.
3. Бабина, Л. В. Анализ ветроустановок для электростанций малой мощности / Л. В. Бабина // Науч. журн. КубГАУ. – 2012. – № 78.
4. Исследование аэродинамики и энергетических характеристик ротора Савониуса / А. А. Бубенчиков [и др.] // МНИЖ. – 2016. – № 12-3 (54).

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОДУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

У. И. Гришан

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Н. А. Самосюк

*Проведен анализ валового потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и энергоемкости валового внутреннего продукта Республики Беларусь. Повышение эффективности использования ТЭР является для республики приоритетным направлением. Изучены различные трактовки понятия «энергоемкость». Выделены факторы, способствующие снижению энергоемкости продукции. По результатам внутреннего энергетического аудита на предприятии предложен план мероприятий по экономии потребления ТЭР.*

**Ключевые слова:** топливно-энергетические ресурсы, энергосбережение, энергоэффективность, энергоемкость.

Состояние экономики любых стран во многом определяется эффективностью использования (ТЭР), а поскольку Республика Беларусь не обладает значительными собственными ТЭР, и до 80 % всех потребляемых в стране ТЭР являются импортными, то данный фактор особенно важен для страны, так как снижение энергоемкости ВВП позволяет снизить валютные затраты страны на закупку ТЭР, следовательно, Республика Беларусь становится более независимой в сфере энергообеспечения от внешних поставщиков, что способствует повышению конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках страны, а также позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Динамика энергоемкости ВВП в Республике Беларусь представлена на рис. 1.