

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ВСЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Зарубин А.С.

научный руководитель канд. техн. наук Амузаде А. С.  
*Сибирский федеральный университет*

Термин возобновляемые источники энергии (ВИЭ) применяется по отношению к тем источникам энергии, запасы которых восполняются естественным образом и в обозримой перспективе являются практически неисчерпаемыми. К таким источникам относятся: солнечная энергия, энергия ветра, энергия растительной биомассы, энергия водных потоков (в частности малая энергетика), а также геотермальная энергия и низкопотенциальное тепло окружающей среды.

Современная энергетика России и в том числе Красноярского края в основном базируется на невозобновляемых источниках энергии. Процент покрытия потребности в электроэнергии от возобновляемых источников энергии в России составляет десятые доли процента. Производство электроэнергии от традиционных источников, помимо того, что оно является одним из основных антропогенных факторов, отрицательно влияющих на окружающую среду, не может гарантировать устойчивое развитие энергетике на длительную перспективу, так как их запасы ограничены. Темпы освоения и развития новых источников органического ископаемого топлива в настоящее время ниже темпов роста его потребления. Согласно экспертной оценке[1], при существующих темпах экспорта нефти и нефтепродуктов России истощение запасов наступит после 2025 года, а природного газа после 2035 г. Также дальнейшее использование органических источников энергии может привести к необратимым экологическим последствиям и бедствиям, изменению климата, экономическим и социальным последствиям.

На сегодняшний день по масштабам использования возобновляемых источников энергии Россия отстает от большинства стран мира, несмотря на то, что обладает огромными ресурсами ВИЭ. Общеизвестный факт, что в России есть мощности энергомашиностроения для производства ветроустановок, заводы для изготовления стальных башен ветроустановок и авиазаводы для изготовления их лопастей.

Существуют значительные трудности для широкого использования в России возобновляемых источников энергии:

- недостаток надежной информации о доступности и экономических возможностях источников и систем возобновляемой энергетики;
- изобилие запасов горючих ископаемых наряду с избыточной генерирующей мощностью в электроэнергетике;



- заблуждение о том, что возобновляемая энергетика — это слишком дорого и требует значительных бюджетных вложений;
- неблагоприятный инвестиционный и законодательный климат.

Благодаря своему географическому положению и размерам, разнообразию климата и особенностям местности в Красноярском

Рисунок 1 – Карта электрификации России

мые ресурсы, коммерческая эксплуатация которых может быть оправданна. Согласно карты электрификации России (рисунок 1) около 80 % территории Красноярского края не подключены к системе централизованного электроснабжения. К таким районам относятся в основном Северные районы с малой плотностью населения. Использование привозных ископаемых видов топлива сопряжено с необходимостью доставки и хранения горючего, периодического обслуживания и ремонта оборудования и т. д. Строительство линий электропередач с целью подключения к централизованной системе электроснабжения требует значительных материальных затрат. Для решения данной проблемы могут быть использованы возобновляемые источники энергии. Не менее эффективно возобновляемые источники энергии могут быть использованы для покрытия дефицита электроэнергии, а также улучшения экологической обстановки (Норильский промышленный район) северных районов края, подключенных к централизованной системе электроснабжения.

Оценим потенциал использования энергии ветра в северных районах Красноярского края. Все выполняемые расчеты являются оценочными и не могут использоваться при принятии конкретных решений по сооружению ВЭУ.

Согласно [2] утилизация ветровой энергии целесообразна в районах, где среднегодовая скорость ветра на уровне флюгера не ниже 5 м/с или коэффициент использования установленной мощности ветроэлектрической установки мощностью более 100 кВт оказывается порядка 20 %.

Согласно [3] на территории Красноярского края только Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ удовлетворяет условию, указанному выше. Однако большая часть технического потенциала не может быть использована в связи с тяжелыми климатическими условиями и низкой плотностью населения и соответственно отсутствием потребителей электроэнергии. Оценить потенциал северной части округа не имеется возможным в связи с отсутствием в свободном доступе климатических данных. Сведения о среднегодовых скоростях ветра по данным метеостанций, расположенных в южных районах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о скоростях ветра, м/с

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Территория, подчиненная администрации г. Дудинка	$\frac{5,3}{7,1}$	$\frac{5,1}{6,8}$	$\frac{5,3}{7,1}$	$\frac{5,7}{7,6}$	$\frac{6,0}{8,0}$	$\frac{5,7}{7,6}$	$\frac{5,5}{7,4}$	$\frac{5,5}{7,4}$	$\frac{5,4}{7,2}$	$\frac{6,1}{8,2}$	$\frac{5,1}{6,8}$	$\frac{5,3}{7,1}$	$\frac{5,5}{7,4}$
Норильский промрайон	$\frac{6,0}{8,0}$	$\frac{5,4}{7,2}$	$\frac{6,0}{8,0}$	$\frac{6,1}{8,2}$	$\frac{5,8}{7,8}$	$\frac{5,0}{6,7}$	$\frac{4,2}{5,6}$	$\frac{4,1}{5,5}$	$\frac{4,5}{6,0}$	$\frac{5,7}{7,6}$	$\frac{5,5}{7,4}$	$\frac{6,1}{8,2}$	$\frac{5,4}{7,2}$

В числителе значения скоростей на уровне флюгера (10 м), в знаменателе на высоте 100 м

Выражение для определения валового потенциала (годовой объем электроэнергии, содержащийся в данном виде ВИЭ при полном ее превращении в полезно используемую энергию):

$$W_B = E_B \cdot \frac{S}{20} = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot T \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot t_i,$$

где  $E_B$  – удельная энергия ветра,  $\text{кВ} \cdot \text{ч}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$ ;  $T$  – число часов в году ( $T= 8760$  ч);  $S$  – площадь территории,  $\text{м}^2$  (по данным Росстата составляет для г. Дудинка 223,5 тыс.  $\text{км}^2$ , Норильского промрайона 4,51 тыс.  $\text{км}^2$ );  $v_i$  – среднемноголетняя скорость ветра в диапазоне,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $t_i$  – вероятность нахождения скорости в диапазоне (согласно [3] при скоростях ветра в диапазоне от 5 до 8 м/с составляет 0,41).

Результаты расчета валового потенциала приведены в таблице 2.

Оценка технического потенциала (часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию возможно при существующем уровне развития технических средств, при соблюдении требований по охране природной среды), выполненная с использованием характеристик Датской ВЭУ V126-3,3 MW ИЕС ША номинальной мощностью 3300 кВт, диаметром ветроколеса 126 м при высоте башни 117 м[4].

Выражение для определения технического потенциала:

$$W_T = N \cdot T_{\text{исп}} \cdot n$$

где,  $N$  – средняя мощность ветроэнергетической установки, Вт, определяемая по выражению:

$$N = \frac{\pi}{8} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n v_i^3 \cdot \eta_{\text{ВЭУ}}(v) \cdot t_i$$

где,  $D$  – диаметр ветроколеса, м;  $\eta_{\text{ВЭУ}}$  – общий КПД ВЭУ (для современных ВЭУ составляет  $\approx 0,39$ );  $T_{\text{исп}}$  – годовое число часов использования установленной мощности ВЭУ определенное по выражению:

$$T_{\text{исп}} = T \cdot k_{\text{и}} = 8760 \cdot 0,47 = 4117$$

где,  $k_{\text{и}}$  – коэффициент использования установленной мощности ВЭУ (согласно техническим данным завода для указанной выше ветроустановки составляет 0,47 при скорости ветра 7 м/с);  $n$  – количество ВЭУ, которое возможно разместить на площади  $S_{\text{т}}$  (составляет примерно 0,2 % от общей территории района) определяется по выражению:

$$n = \frac{S_{\text{т}}}{100 \cdot D^2}$$

Результаты расчета валового потенциала приведены в таблице 2.

Для определения экономического потенциала (часть технического потенциала, преобразование которого в полезную используемую энергию экономически целесообразно при данном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию и т. д.) рассчитаем стоимость производимой электроэнергии и срок окупаемости.

Стоимость производства электроэнергии, руб./кВт·ч определяется по выражению:

$$\text{Ц} = \frac{r_{\text{э}} \cdot C \cdot (1 + \gamma \cdot T_{\text{сл}})}{k_{\text{и}} \cdot T \cdot T_{\text{сл}}} = \frac{39600 \cdot (1 + 0,05 \cdot 20)}{4117 \cdot 20} = 0,96$$

где,  $r_{\text{э}}$  – региональный экономический фактор стоимости ветроэнергетической установки;  $C$  – удельная стоимость установленной мощности ветроэнергетической установки, руб./кВт;  $T_{\text{сл}}$  – срок службы ветроэнергетической установки, год, принимаемый по данным завода изготовителя 25 лет;  $\gamma$  – норма эксплуатационных издержек, принимаемая равной 0,05.

Удельная стоимость установленной мощности, руб./кВт согласно мировой статистики  $C_{\text{э}} = r_{\text{э}} \cdot C \cdot 33 = 39600 \text{ руб./кВт}$  (или 1200 долл./кВт).

Срок окупаемости, год:

$$T_{\text{ок}} = \frac{r_{\text{э}} \cdot C}{T \cdot k_{\text{и}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}} - \gamma \cdot r_{\text{э}} \cdot C} = \frac{39600}{4117 \cdot 1,28 - 0,05 \cdot 39600} = 12$$

где,  $\text{Ц}_{\text{э}}$  – стоимость (тариф) электроэнергии, вырабатываемой на традиционных установках, руб./кВт.

Экономический эффект использования ветроэнергетической установки при дефиците электроэнергии в 1 кВт·ч, руб.:

$$\begin{aligned} \text{Э} &= (T_{\text{сл}} - T_{\text{ок}}) \cdot M \cdot (E \cdot \text{Ц}_{\text{т}} - \text{И}_{\text{эк}}) \cdot T_{\text{сл}} \cdot Q \cdot (\text{Ц}_{\text{п}} - \text{Ц}_{\text{т}}) \\ &= (20 - 12) \cdot 1 \cdot (24183258 \cdot 1,28 - 6534000) \cdot 20 \cdot 1 \cdot (49 - 1,2) \\ &= 186,38 \cdot 10^9 \end{aligned}$$

где,  $M$  – число ветроэнергетических установок в зоне, шт.;  $Q$  – дефицит электроэнергии, кВт·ч;  $\text{И}_{\text{эк}}$  – издержки эксплуатации, руб./год, которые определяются по выражению:  $\text{И}_{\text{эк}} = \gamma \cdot N_{\text{р}} \cdot r_{\text{э}} \cdot C = 0,05 \cdot 3300 \cdot 1200 \cdot 33 = 6534000$ ;  $\text{Ц}_{\text{п}}$  – удельная цена потерь от недоставка энергии или удельная стоимость ценностей, производимых промышленностью, руб./кВт·ч (согласно зарубежного опыта колеблется от 1,5 до 4 долл./кВт·ч);  $E$  – электроэнергия, вырабатываемая установкой в год, кВт·ч/год, определяется по формуле:  $E = N \cdot T_{\text{исп}} = 5874 \cdot 4117 = 24183258$ .

В соответствии с определением экономического потенциала ветровой энергии региона, представляет собой энергию, которая может быть выработана в год ветроэнер-

гетическими установками при условии, что их экономический эффект больше нуля. Выполнение условий  $T_{сл} \geq T_{ок}$  и  $\Delta > 0$  означает, что в данном случае целесообразно использовать максимально возможную мощность ветроэлектрических станций, так что экономический потенциал ветровой энергии оказывается равным техническому потенциалу:

$$W_э = W_т$$

Переведем экономический потенциал рассматриваемых районов в условные единицы. Согласно [5]  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,12 \text{ кг у. т.}$ , тогда экономический потенциал составит  $8,17 \text{ млн. т. у. т.}$ , что эквивалентно сжиганию  $18,45 \text{ млн. т}$  угля или  $10,21 \text{ млрд. м}^3$  природного газа для территории подчиненной администрации г. Дудинка и  $0,16 \text{ млн. т. у. т.}$ , что эквивалентно сжиганию  $0,36 \text{ млн. т}$  угля или  $0,2 \text{ млрд. м}^3$  природного газа для Норильского промрайона.

Результаты расчета потенциалов энергии ветра в рассматриваемых районах приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета потенциала энергии ветра

Район	Валовый потенциал, млрд. кВт·ч	Технический потенциал, млрд. кВт·ч	Экономический потенциал	
			млрд. кВт·ч	млн. т. у. т.
Территория, подчиненная администрации г. Дудинка	87000	68,1	68,1	8,17
Норильский промрайон	2300	1,33	1,33	0,16

#### **Выводы:**

1. Согласно данным многолетних наблюдений по метеостанциям Красноярского края наиболее благоприятным районом для использования энергии ветра для производства электроэнергии является Таймырский автономный округ со скоростями ветра более  $5 \text{ м/с}$  на уровне флюгера.

2. Расчеты показывают, что экономический эффект при принятых условиях является положительным, а срок окупаемости меньше срока службы установки, следовательно, использование ВЭУ для производства электроэнергии в рассмотренных районах оправданно.

3. С большей эффективностью ВЭУ могут быть использованы для электроснабжения удаленных населенных пунктов, где основным источником энергии являются дизельные электростанции и стоимость электроэнергии достаточно высока.

## Список литературы

1. Каргиев, В. М. Потенциал возобновляемых источников энергии в России. Существующие технологии. Аналитический обзор/ В. М. Каргиев // Российско-Европейский Технологический Центр. 34 с.
2. Безруких, П. П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / П. П. Безруких. – М.: «ИАЦ Энергия», 2007. – 272 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Часть 1-6. Выпуск 21. Красноярский край, Тувинская АССР. Книга 1. – Л.: изд-во Гидрометеиздат, 1990. – 623 с.
4. Каталог продукции «Vestas» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vestas.com/>
5. ГОСТ Р 51750–2001 Энергосбережение. Методика определения энергоемкости при производстве продукции и оказания услуг в технологических энергетических системах. Общие положения [Текст]. – Введ. 01.01.2002. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 21 с.