

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

В.А. Шакиров, А.Ю. Артемьев

*В статье предложена структура комплексного анализа эффективности использования ветроэнергетических установок. В три этапа проводится выбор перспективных районов и ветроэнергетических установок на основании суточных данных метеостанций за десятилетний период.*

*Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, мощностная характеристика, повторяемость скоростей ветра, анализ эффективности.*

Развитие и интенсификация сельскохозяйственного производства требуют опережающего развития энергетики. Поэтому важнейшее значение приобретает дальнейшее совершенствование и развитие топливно-энергетического комплекса страны, экономия невозобновляемых источников энергии. Применение установок, преобразующих энергию возобновляющихся источников (ВИЭ) в другие виды энергии, направлено, прежде всего, на сокращение расхода жидкого топлива и повышение экономичности и надёжности энергоснабжения. Использование ВИЭ актуально для энергоснабжения небольших и рассредоточенных объектов, в районах с малой плотностью нагрузки, удалённых от энергосистем, нефте- и газопроводов [1].

Тенденции развития мировой ветроэнергетики свидетельствуют о перспективности использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) в сельском хозяйстве. Сферой преимущественного использования ВЭУ является электроснабжение небольших объектов связи, метеослужб, северных и арктических посёлков, бытовых потребностей сельского населения и рыболовецких бригад. ВЭУ использовались в сельском хозяйстве для механизации подъёма воды на пастбищах, на орошаемых участках [1].

Одной из перспективных территорий для использования ВЭУ является республика Саха (Якутия). Север республики является зоной с децентрализованным электроснабжением потребителей. Основой электроснабжения потребителей в отдалённых от электрических сетей районах являются около 200 дизельных электростанций. Малая энергетика, построенная преимущественно на дизельной генерации и локальных сетях малого напряжения, обусловлена социально-

экономическими особенностями функционирования и развития энергетического хозяйства северного региона: суровые климатические условия, удалённость и труднодоступность потребителей, низкая плотность населения и небольшие требуемые мощности генерирующих установок, высокая экологическая уязвимость территории [2].

Анализ среднегодовых скоростей ветра метеостанций Якутии показал, что скорость более 3 м/с превалирует в северной части республики. Улусы, расположенные южнее отмеченных пяти на рисунке 1, имеют заметные более низкие среднегодовые скорости ветра – преимущественно менее 2,5 м/с.

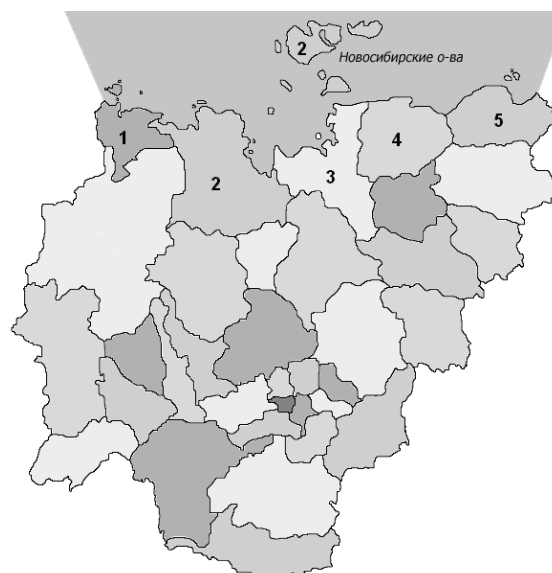


Рисунок 1 – Улусы с высоким ветровым потенциалом республики Саха (Якутия)

Для оценки целесообразности использования энергии ветра в децентрализованной системе электроснабжения Якутии были вы-

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

браны северные улусы: 1 – Анабарский, 2 – Булунский, 3 – Усть-Янский, 4 – Аллаиховский, 5 – Нижнеколымский (рисунок 1). В таблице 1 представлены значения среднегодовых скоростей по данным многолетних наблюдений метеостанций.

Таблица 1 – Среднегодовые скорости ветра по данным метеостанций Якутии

№ на карте	Улус	Метеостанция	V <sub>ср</sub> , м/с
1	Анабарский	Саскылах	3,3
2	Булунский	Усть-Оленек	6,4
		Таймылыр	5,5
		Тюмяти	3,5
		Тикси	5,2
		Кюсюр	4,4
		Сиктях	3,2
3	Усть-Янский	Буорхая	6,0
		Усть-Янск	3,5
		Казачье	3,7
4	Аллаиховский	Табор	4,9
		Чокурдах	4,8
5	Нижнеколымский	Алазая	4,8

Анализ эффективности использования ВУЭ проводился в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структура комплексного анализа эффективности использования ВЭУ

На первом этапе формировался массив исходных данных. Использовались измерения метеостанций, проводившиеся в период с 2001 по 2010 гг. Это позволило получить представление о средних годовых скоростях ветра, возможных отклонениях от средней скорости по данным многолетних испытаний,

длительности отклонений. На рисунке 3 приведен пример данных для районов метеостанций Кюсюр, Саскылах и Тикси.

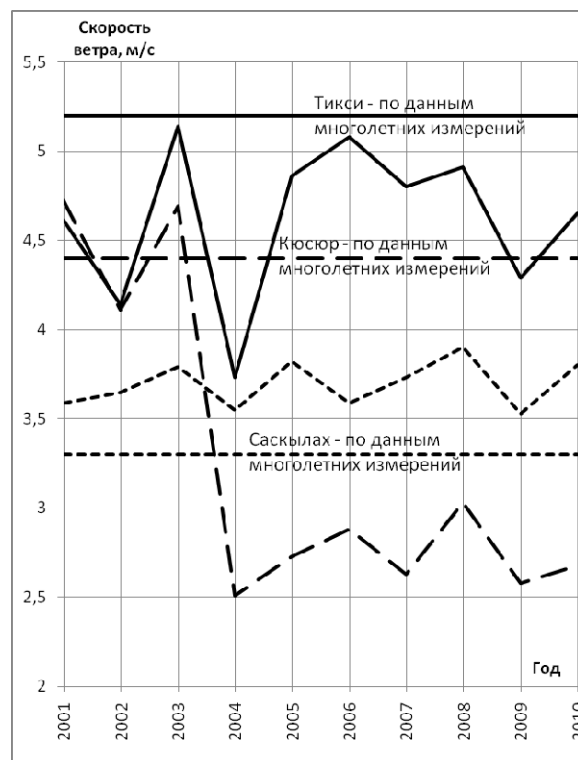


Рисунок 3 – Среднегодовые скорости ветра

Данные о возможных отклонениях среднегодовой скорости ветра позволяют судить о степени риска инвестиционных проектов внедрения ВЭУ.

Исходные данные о ВЭУ включали в себя мощностную характеристику, технико-экономические показатели, условия технической эксплуатации.

Нагрузки пунктов рассматривались с учётом характерных особенностей северных районов и специфики электропотребления пунктов с малым числом жителей. Для населенных пунктов с числом жителей до 100 человек использовались графики нагрузки, предложенные в [2].

На втором этапе осуществлялся анализ ветроэнергетического потенциала районов. Рассчитывались климатические параметры в соответствии с методическими указаниями по проведению изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок РД 52.04.275-89.

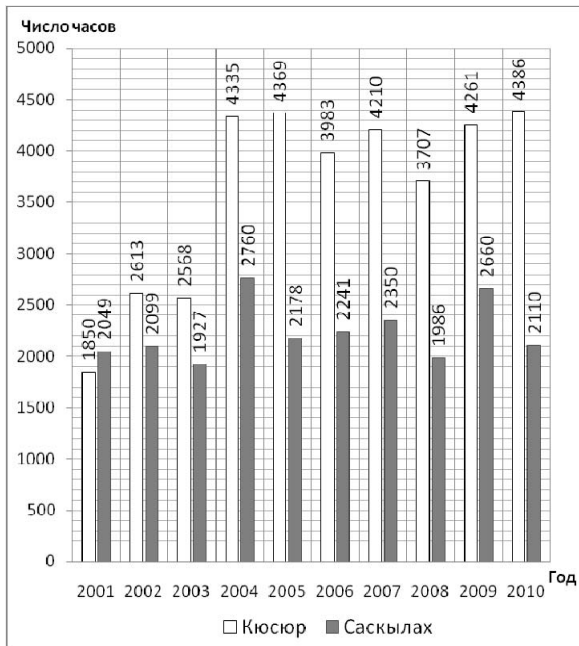


Рисунок 4 – Продолжительность энергетических затиший со скоростью ветра до 2 м/с

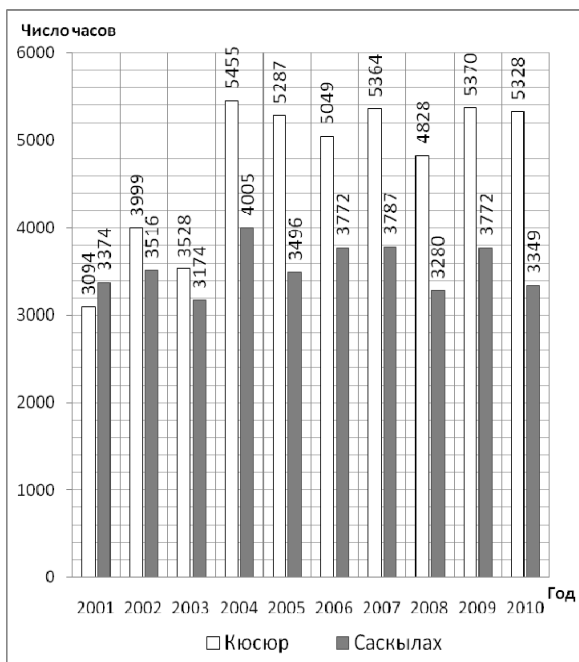


Рисунок 5 – Продолжительность энергетических затиший со скоростью ветра до 3 м/с

На рисунках 4, 5 приведены примеры сопоставления продолжительности энергетических затиший для ВЭУ с начальной скоростью 2 и 3 м/с для районов Кюсюр и Саскылах. Изменение числа часов энергетических затиший по годам согласуется с графиком изменения среднегодовых скоростей, представленном

на рисунке 3. Район метеостанции Кюсюр с 2004 года имеет значительно худшие показатели относительно многолетних измерений. Район метеостанции Саскылах имеет стабильные ветровые показатели. Анализ динамики продолжительности энергетических затиший по годам позволяет судить об устойчивости ожидаемых результатов принимаемых инвестиционных решений. Также, можно получить представление о влиянии начальной скорости ВЭУ на выработку электроэнергии в районах метеостанций. Но, учитывая малую выработку электроэнергии ВЭУ на скоростях близких к начальной, окончательное заключение об эффективности ВЭУ различных видов следует принимать после дополнительного анализа выработки на высоких скоростях.

Сравнение ВЭУ по характеристикам осуществлялось путем совмещения мощностных характеристик, приведенных к 1 кВт установленной мощности, к 1 тыс. руб. стоимости ВЭУ. Например, на рисунке 6 приведены мощностные характеристики ВЭУ Eurowind 2, Eurowind 10, Мельников ВЭУ-5.

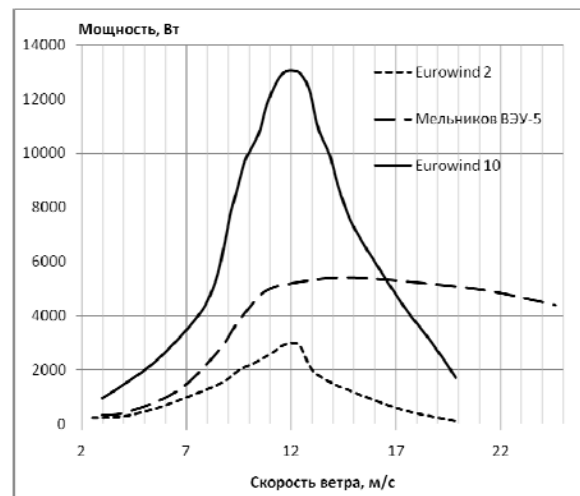


Рисунок 6 – Мощностные характеристики ВЭУ

На рисунке 7 приведены характеристики, приведенные к 1 тыс. руб. стоимости ВЭУ. Можно сделать предварительное заключение об экономической эффективности Eurowind 2 при скорости ветра до 13 м/с. Необходимо, однако, учитывать, что малая установленная мощность обуславливает больший парк ветроустановок. Это обстоятельство не позволяет сделать окончательное заключение об экономической эффективности для установок с сильно отличающейся установленной мощностью, но позволяет исключить из сравне-

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

ния малоэффективные ветроустановки близкой установленной мощности.

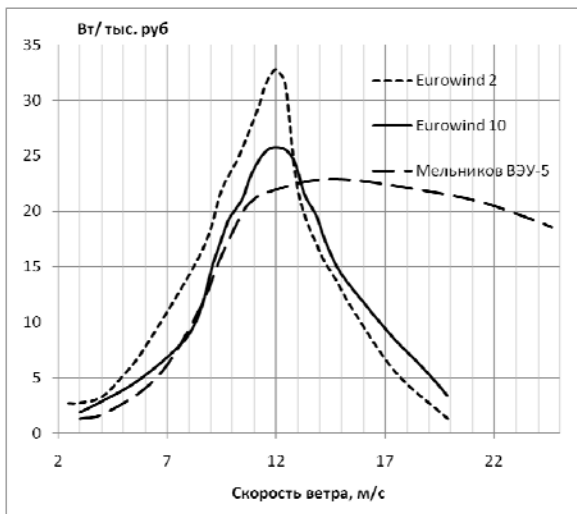


Рисунок 7 – Мощностные характеристики ВЭУ, приведенные к 1 тыс. руб. стоимости

На втором этапе анализ ВЭУ и районов проводится независимо. В результате должны быть намечены перспективные районы и эффективные ВЭУ. На третьем этапе осуществляется совместный анализ, целью которого является определение эффективных моделей ВЭУ для намеченных районов.

Для предварительной оценки эффективности ВЭУ для рассматриваемых районов предлагается проводить анализ выработки электроэнергии на отдельных интервалах скоростей ветра с использованием мощностных характеристик. Например, для района метеостанции Кюсюр на рисунке 8 представлен график повторяемости скоростей ветра за 10 лет и график выработки электроэнергии для отдельных интервалов скоростей ветра, построенный с использованием мощностной характеристики ВЭУ Eurowind 20. Из рисунка можно заключить, что наибольший вклад в выработку Eurowind 20 в районе метеостанции Кюсюр вносит ветер скоростью 6-7 м/с.

Графики, отражающие выработку электроэнергии для отдельных интервалов скорости ветра, позволяют определять наиболее эффективные ВЭУ для данной местности. Например, на рисунке 9 представлено сравнение четырех видов ВЭУ различной мощности. Выработка электроэнергии приведена к 1 тыс. руб. стоимости ВЭУ. Можно сделать заключение о высокой экономической эффективности Eurowind 2 и низкой экономической эффективности Eurowind 20 для района метеостанции Кюсюр.

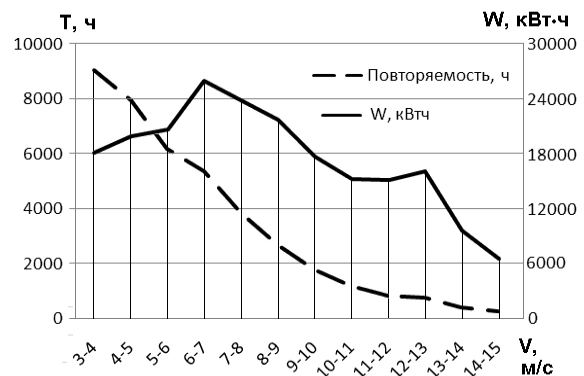


Рисунок 8 – Повторяемость ветра по скорости и выработка электроэнергии Eurowind 20

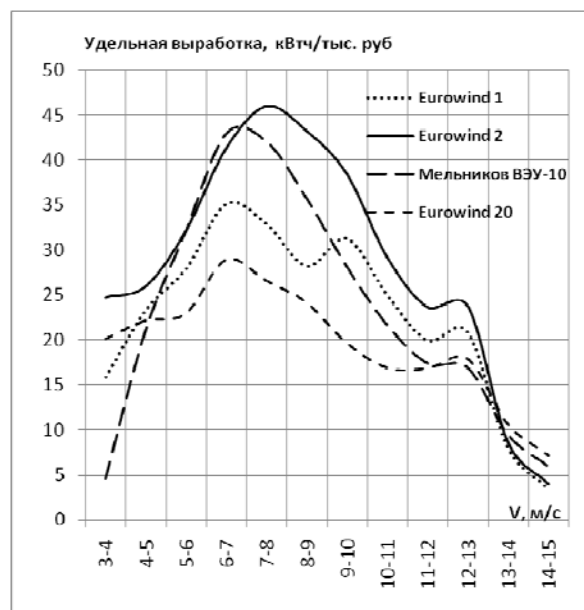


Рисунок 9 – Выработка энергии ВЭУ на участках мощностных характеристик

После отбора экономически эффективных ВЭУ проводился уточненный расчет выработки электроэнергии.

Возможная выработка электроэнергии в исследовании оценивалась с использованием выражения:

$$W = \sum_{i=1}^N P(V_i) T_i \quad (1)$$

где  $W$  – выработка электроэнергии, кВт·ч;  
 $P(V_i)$  – электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра  $V_i$  на  $i$ -м интервале измерения, кВт;

$T_i$  – продолжительность интервала измерения, ч.

Для расчетов были использованы данные архива метеостанций с 2001 по 2010 года. В архиве содержатся сведения об измерениях ветра 4 раза в сутки.

Скорость ветра  $V_i$  для выражения (1) приводилась к высоте установки ротора ВЭУ:

$$V_i = V_{изм} \left( \frac{H_i}{H_{изм}} \right)^m \quad (2)$$

где  $V_i$  – скорость ветра на высоте  $H_i$ , м/с;  
 $V_{изм}$  – скорость ветра на высоте флюгера метеостанции  $H_{изм}$ , м/с;  
 $m$  – степенной коэффициент, зависящий от средней скорости ветра [3].

Например, для районов метеостанций Саскылах и Кюсюр приведены результаты расчета выработки Eurowind 2 в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета выработки электроэнергии ВЭУ Eurowind 2

Год	Район метеостанции Кюсюр	Район метеостанции Саскылах
	$W_{выраб.}$ тыс. кВт·ч	$W_{выраб.}$ тыс. кВт·ч
2001	4,894	2,893
2002	4,189	3,000
2003	5,619	3,194
2004	2,108	3,057
2005	2,625	3,337
2006	2,628	3,001
2007	2,229	3,096
2008	2,786	3,390
2009	2,185	2,965
2010	2,494	3,293

Оценка выработки электроэнергии за 10 лет показала близкие результаты для двух исследуемых районов. В соответствии с рисунком 3 ветровые показатели района метеостанции Кюсюр были существенно ниже показателей по данным многолетних измерений. Ветровые показатели района метеостанции Саскылах, напротив, были выше. Исходя из этого, можно предположить, что использование ВЭУ Eurowind 2 в районе метеостанции Кюсюр может быть более эффективным. Наиболее эффективные ВЭУ для пункта Кюсюр приведены в таблице 3. Экономический эффект приведен к 1 кВт установленной мощности ВЭУ для сопоставления.

Таблица 3 – Результаты расчета экономического эффекта использования ВЭУ

Год	Eurowind 2	Eurowind 1	Мельников ВЭУ-10
	Тыс. руб./кВт мощности ВЭУ		
2001	9,127	8,044	7,701
2002	6,765	5,634	5,363
2003	10,889	9,907	8,854
2004	1,273	0,242	0,383
2005	2,622	1,587	1,632
2006	2,416	1,255	1,430
2007	1,727	0,532	0,806
2008	2,971	1,778	1,899
2009	1,363	0,165	0,523
2010	2,431	1,254	1,377

Для Eurowind 2 при сохранении ветра на уровне 2001 или 2003 года срок окупаемости составит 5 лет, на уровне 2002 года – 7 лет. Ветровые показатели по данным многолетних испытаний наиболее близки к данным 2002 года, а значит, вероятный ориентировочный срок окупаемости составляет порядка 7 лет.

Комплексный анализ эффективности использования ВЭУ предложенной структуры позволит проводить всестороннее исследование и повысит качество принимаемых решений по развитию систем децентрализованного электроснабжения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра [текст] / Я.И. Шефтер. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.
2. Лукутин, Б.В. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии [текст] / Б.В. Лукутин, В.Р. Киушкина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.
3. Харитонов, В.П. Автономные ветроэлектрические установки [текст] / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

**Шакиров В.А.**, к.т.н., доцент кафедры систем электроснабжения;

**Артемьев А.Ю.**, студент, ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», тел.: 8(3953)32-53-56, E-mail: [mynovember@mail.ru](mailto:mynovember@mail.ru).