

УДК 620.92(571.56-17\* 678 530)

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ Г.ВЕРХОЯНСКА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Иванова И.Ю., <sup>2</sup>Ноговицын Д.Д., <sup>1</sup>Тугузова Т.Ф., <sup>2</sup>Шенна З.М., <sup>2</sup>Сергеева Л.П.

<sup>1</sup>ФГБУН «Институт систем энергетики

им. Л.А. Мелентьева» СО РАН (ИСЭМ СО РАН), Иркутск;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова»

СО РАН (ИФТПС СО РАН), Якутск, e-mail: dnogeticyn@yandex.ru

Неразвитость транспортной инфраструктуры в северных районах Якутии, дальность, многозвенность и ограниченность процесса сезонного завоза топлива в труднодоступные населенные пункты обуславливают высокие потери и многократное его удорожание. Данное решение проблемы децентрализованного потребителя требует проведения ресурсных, технико-экономических, экологических и других исследований для внедрения возобновляемой энергетики в систему электроснабжения республики, что привело бы к уменьшению затрат на доставку топлива и повышению энергоэффективности в этих зонах. Дана краткая характеристика климата и ветроэнергетических ресурсов территории Республики Саха (Якутия). На основе анализа современного состояния энергоснабжения децентрализованных потребителей, обеспеченности природными возобновляемыми энергоресурсами произведена оценка эффективности применения различных типов ветроэнергетических установок на территории республики (на примере г.Верхоянска). Описан опыт эксплуатации ВЭУ в п. Тикси Булунского улуса Республики Саха (Якутия).

**Ключевые слова:** ветроустановки, использование энергии ветра, ветроэнергетические ресурсы, энергоснабжение, энергоэффективность

## WIND ENERGY RESOURCES IN VERKHOYANSK TOWN OF THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA) AND THE POSSIBILITY OF THEIR USE FOR POWER SUPPLY

<sup>1</sup>Ivanova I.Y., <sup>2</sup>Nogovitsyn D.D., <sup>1</sup>Tuguzova T.F., <sup>2</sup>Sheina Z.M., <sup>2</sup>Sergeeva L.P.

<sup>1</sup>Federal state government-financed institution of science

the L.A. Melentiev Energy Systems Institute, SB RAS (ESI SB RAS), Irkutsk;

<sup>2</sup>Federal state government-financed institution of science the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS (IPTPN SB RAS), Yakutsk, , e-mail: dnogeticyn@yandex.ru

Poor transportation infrastructure in the northern districts of Yakutia, distance, multi-link and limitedness of the seasonal delivery of fuel to remote areas cause high losses and its multiple rise in the cost. This solution of a decentralized consumer problem requires resource, technical, economic, environmental and other studies for the introduction of renewable energy in the electric power system of the Republic, which would reduce the cost of fuel delivery and energy efficiency in these areas. A brief description of the climate and wind energy resources in the Republic of Sakha (Yakutia) is given. Based on the analysis of the current state of decentralized energy consumers, the availability of natural renewable energy resources the estimation of the effectiveness of different types of wind turbines on the republic territory (on the example of Verkhoyansk) has been given. The experience of operating wind turbines in Tiksi, Bulunsky region of the Sakha Republic (Yakutia) is described.

**Keywords:** wind turbine, use of wind energy, wind power resources, energy supply, energy efficiency

### Климат

Опыт эксплуатации ветроустановок показывает, что их производительность во многом зависит от ландшафтных условий их расположения.

На территории Республики Саха (Якутии) наблюдаются все формы рельефа: горы, плоскогорья, межгорные впадины и низменности.

Высокогорные районы республики представлены мощными горными системами, идущими почти в меридиональном направлении, за исключением Станового хребта, простирающегося преимущественно в широтном направлении. Горные системы хребтов Верхоянского, Черского, Момского и других расположены к востоку от р. Лены, а горные образования Станового

хребта – на юге Якутии, в верховье Лены. Отдельные вершины хребтов достигают 3000 м и более над уровнем моря.

Плоскогорья и нагорья широко распространены на территории республики. Преобладающую часть левобережной территории водосбора р. Лены занимает Среднесибирское плоскогорье с наклоном к р. Лене и на Север. Наиболее высокие точки этой части плоскогорья достигают 1000 м, средние колеблются от 250 до 500 м над уровнем моря. На юге расположены Патомское, Олекмо-Чарское и Алданское нагорья, имеющие наклон к р. Лене. Высота их несколько больше высоты Среднесибирского плоскогорья, отдельные точки достигают высоты около 2000 м. В юго-восточной части находится Юдомо-Майское нагорье, между систе-

мами хребтов Верхоянского и Черского – обширные плоскогорья Яно-Оймяконское с Верхоянской впадиной и Оймяконской котловиной и Нерское, в северо-восточной части – Алазейское и Юкагирское плоскогорья.

Горные районы Якутии с севера окаймляются относительно неширокой низменностью, которая непрерывно тянется с запада на восток вдоль морского побережья и разделяется только Верхоянским хребтом. К западу от Верхоянского хребта вдоль побережья тянется Анабаро-Ленская низменность, а к востоку простирается Приморская низменность, которую можно разделить на Яно-Индибирскую и Индиги-ро-Колымскую.

Прибрежные низменности переходят во внутренние: Колымскую и Центрально-Якутскую. Анабаро-Ленская и Приморская низменности на значительном протяжении сохраняют однообразный характер с многочисленными озерами, болотами, плоско-холмистым рельефом с малыми абсолютными высотами и слабым наклоном к морю. Внутренние низменности являются междугорными впадинами, понижающимися к центру.

Ветровой режим, формирующийся под влиянием барических центров, характеризуется сменой противоположных направлений ветра и скоростями от 0,9–4,5 м/с во внутренних частях территории до 3,5–6,8 м/с на островах и побережьях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского [2].

Распределение различных направлений ветра и его скоростей обуславливается режимом барических центров над Восточной Сибирью и Арктикой. Направление и скорость ветра у поверхности земли зависят, кроме того, от рельефа местности и других физико-географических особенностей, характерных для исследуемой территории.

В зимний сезон основным барическим образованием у поверхности земли, определяющим ветровой режим этого периода, является отрог зимнего азиатского антициклона, почти полностью занимающего территорию Якутии в это время.

Формирование области высокого давления начинается уже с сентября с центром над Тувинской котловиной и севером Монголии. Отрог высокого давления, простирающийся от Байкала на северо-восток до о. Врангеля, разделяет республику на две области с различными системами ветров.

Летом над Якутией располагается поле пониженного давления с центром в районе Оймяконского и Нерского плоскогорий.

Сезонная смена полей давления определяет и ветровой режим. Однако в ветровой режим значительные изменения вносят географические особенности территории.

Зимой распределение давления способствует развитию на большей части рассматриваемой территории южных, юго-западных ветров, направленных в сторону полярного бассейна, а в юго-восточной части территории – северных и северо-западных, направленных в сторону Охотского моря. Распределение направлений ветра остается зимним с сентября по март.

В летнее время на побережьях моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря ветры дуют в направлении, обратном зимнему, т.е. имеют муссонный характер, на остальной части Якутии преобладают северные, северо-восточные, северо-западные и западные ветры, а в юго-восточной части территории – южных румбов. Общая конфигурация направления ветров остается летней с мая по август.

В переходные сезоны, к которым относятся сентябрь и апрель, зимнее распределение ветра сочетается с летним.

В условиях горно-холмистой поверхности республики направление у земли подчеркивает влияние речных и горных долин, вызывающих деформацию воздушного потока под влиянием рельефа (Сангар, Витим, Мянгнира, Сухана и др.). На станциях, расположенных на побережьях и островах моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря, на направление ветра оказывается влияние очертаний береговой линии и направления проливов (мыс Шалаурова, бухта Тикси).

#### **Характеристика ветроэнергетических ресурсов**

При оценке потенциала ветроэнергетических ресурсов и для более полной характеристики ветрового режима пользуются вероятностью скоростей ветра в различных пределах данных скоростей.

Наибольшую повторяемость на большей части территории Республики Саха (Якутии) имеют скорости ветра от 0 до 5 м/с (около 93%), т.е. преобладают ветры слабые и умеренные, причем больший процент составляют скорости 0–1 м/с (около 59%). Наибольшая вероятность малых скоростей ветра (до 2 м/с) приходится на зимние месяцы, а умеренных скоростей (от 2 до 5 м/с) – на летние. На островах моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря наибольший процент в годовом разрезе приходится на ветры со скоростью 4–5 м/с, а на о.Четырехстолбовом – на ветры 6–7 м/с [2].

На территории Якутии число дней с сильным ветром (15 м/с и более) по данным отдельных пунктов очень сильно колеблется и составляет в среднем в году от 1 до 55 дней. Наиболее часто сильные ветры наблюдаются на островах и побережьях морей

Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также в долине р. Лены (от Усть-Алдана до впадения ее в море) и в зоне тундры. Кроме того, увеличение числа дней с сильным ветром отмечается на вершинах холмов, перевалах и в долинах рек, ориентированных в направлении преобладающих ветров. Малое число дней с сильным ветром характерно для большей части Якутии, особенно для Оймяконской котловины, Янской междугорной впадины, для центральных районов Якутии, а также для пунктов, расположенных в защищенных от преобладающих направлений ветров местах.

Ветры разрушительной силы могут наблюдаться на островах и побережьях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, а также в зоне тундры и в долине р. Лены (от Усть-Алдана до впадения Лены в море).

В Якутии наиболее выгодно использовать энергию ветра в субарктических и арктических районах, для которых характерны сильные ветра, присутствующие большее время года. Таких районов десять: Анабарский, Булунский, Аллаиховский, Усть-Янский, Нижнеколымский, Оленекский, Жиганский, Верхоянский, Абыйский, Среднеколымский (рис. 1). Кроме того, имеется ряд благоприятных мест для использования энергии ветра и в материковой части Якутии. Предварительные расчеты показали, что в этих районах с помощью ветростанций можно выработать с 1 кв. км площади от 249 до 1900 тыс. кВт·ч электроэнергии в год. Продолжительность энергоиспользуемых ветров, дующих со скоростью 4 м/с и выше, составляет от 150 до 280 дней в году.



Рис. 1. Зонирование территории республики по показателю среднегодовой скорости ветра на высоте флюгера ГМС

Известные трудности, связанные с использованием энергии ветра (штилы, малая скорость ветра и др.) заставляют исследователей искать различные сочетания ВЭС с другими источниками. В условиях Якутии наиболее рационально сочетать работу ВЭС с дизельными электростанциями (ДЭС) в зоне децентрализованного электроснабжения.

Основными проблемами энергоснабжения децентрализованных потребителей являются недопустимый износ основных производственных фондов и энергетических объектов, определяющий их неудовлетворительное техническое состояние, низкую экономичность (удельный расход топлива на производство на дизельных электростанциях в отдельных пунктах достигает 500–600 г у.т./кВт·ч при КПД 20–25%), что приводит к недостаточной надежности энергоснабжения и неоправданно высоким финансовым затратам. Незрелость транспортной инфраструктуры в северных улусах, дальность, многозвенность и ограниченность процесса сезонного завоза топлива в труднодоступные районы обуславливают высокие потери и многократное его удорожание.

Очевидным путем повышения энергоэффективности таких зон является максимальное использование местных возобновляемых энергоресурсов. Данное решение проблемы децентрализованного потребителя требует проведения ресурсных, технико-экономических, экологических и других исследований для внедрения возобновляемой энергетики в систему электроснабжения республики. Применение технологий возобновляемой энергетики, при разумном использовании, может оказать заметную помощь в энергообеспечении районов со слабой топливной базой, плохими транспортными условиями и слабым развитием электрических сетей. Параллельная работа возобновляемых источников энергии с дизельными электростанциями позволит получить значительную экономию жидкого топлива.

Как один из вариантов решения многочисленных проблем этих районов рассмотрены возможности использования энергии ветра на примере Верхоянского улуса.

#### **Результаты исследований экономической эффективности**

Верхоянский улус расположен на северо-востоке Республики Саха (Якутия), в заполярье в бассейне реки Яна и ее притоков, относится к группе арктических улусов.

Рельеф горный. Центральную часть занимает Янское плоскогорье, на западе –

хребты Верхоянский, Орулган, на северо-западе – хр. Кулар, на востоке – горные цепи хребта Черского.

Свободное проникновение холодного арктического воздуха с севера обуславливает суровый резко-континентальный климат. Средняя температура января от –38 до –48°C; июля +16...+17°C [3]. Зимний период длится около 7 месяцев. Территория района целиком лежит в области вечной мерзлоты, мощность которой составляет 300–500 м. Верхоянск – город с самой большой разницей температур. Количество осадков небольшое – 150–200 мм, что сравнимо с количеством осадков в пустынных регионах. Заморозки возможны в течение всего года, включая лето.

*Характеристика энергоисточников.* Электроэнергией потребители г. Верхоянска обеспечиваются от автономной дизельной электростанции. Зимний максимум электрической нагрузки потребителей достигает 860 кВт. Суммарная мощность ДЭС составляет 1950 кВт. В целях обеспечения устойчивого бесперебойного электроснабжения потребителей в суровых северных условиях установленная мощность дизель-генераторов превосходит максимальную зимнюю нагрузку в несколько раз.

*Условия топливоснабжения.* В качестве топлива на энергоисточниках Верхоянского улуса используются дизельное топливо и уголь. Сложная транспортная схема завоза обуславливает высокие цены дизельного топлива. В эксплуатационных затратах ДЭС расходы на топливо доходят до 70%.

Уголь на котельные Верхоянского улуса завозится с месторождения Джебарики-Хая водным путем по рекам Лена и Яна. Транспортная составляющая в стоимости угля занимает более 80%.

*Годовые графики потребления электрической и тепловой энергии.* Распределение электрической нагрузки в г. Верхоянске в течение года имеет ярко выраженный сезонный характер. Причем в связи с наличием полярного дня в летнее время нагрузка снижается по сравнению с зимним периодом в 3–6 раз: максимальные значения с 860 до 280 кВт, минимальные – с 470 до 80 кВт (рис. 2).

Принимая во внимание коммунально-бытовой характер и исходя из соотношения максимумов и минимумов нагрузки в течение года, сформирован график потребления электрической энергии в г. Верхоянске (рис. 3).

*Ветроэнергетический потенциал.* В г. Верхоянске среднегодовые скорости ветра не превышают 1–3 м/с. Среднегодовая скорость ветра на высоте флюгера (12 м)

ГМС составляет 1,3 м/с [2]. Распределение в течение года среднемесячных скоростей ветра на высоте флюгера для климатических условий г. Верхоянска приведено на рис. 4. Наибольшие среднемесячные значения, которые не превышают 2,5 м/с, на-

блюдаются в весенне-летний период (май-июнь-июль). В осенний период, после пика ветровой активности, происходит постепенное снижение среднемесячных значений, и в наиболее холодные зимние месяцы они составляют 0,5 м/с.

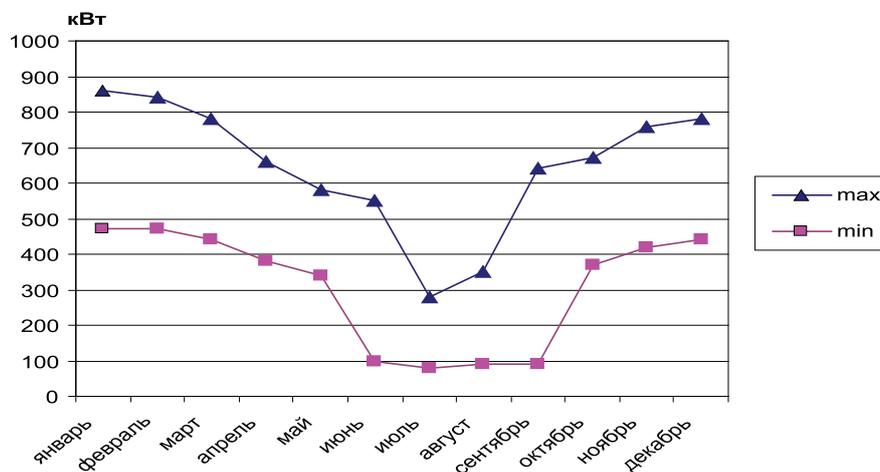


Рис. 2. Годовой график электрической нагрузки, г. Верхоянск

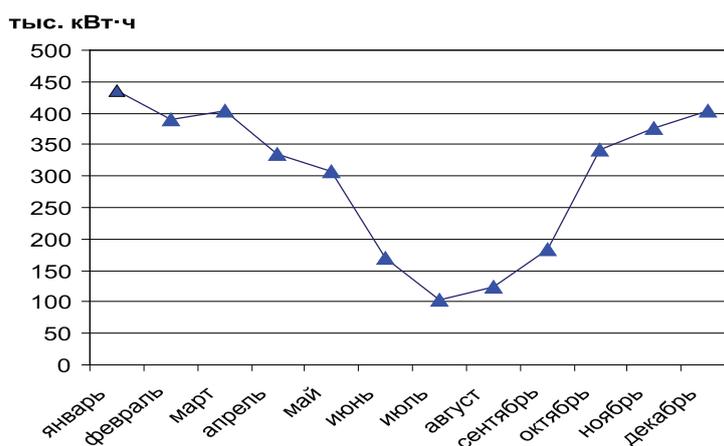


Рис. 3. График потребления электрической энергии

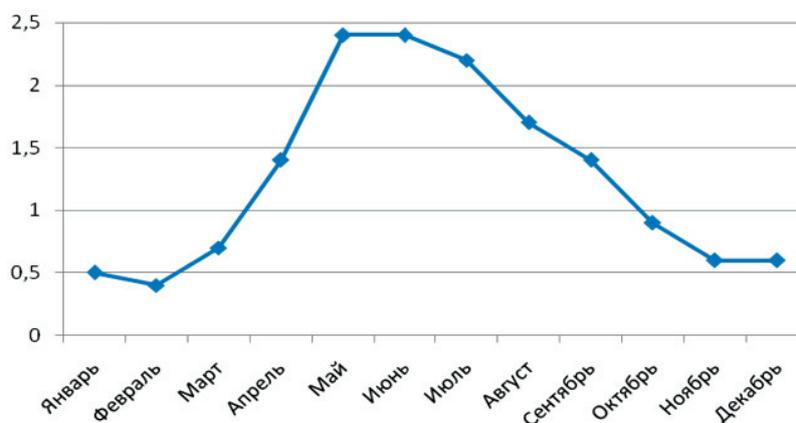


Рис. 4. Среднемесячная скорость ветра в г. Верхоянске на высоте флюгера ГМС, м/с

Анализ распределения вероятностей скорости ветра по градациям показывает, что преобладающими на высоте флюгера являются скорости ветра в диапазоне 0–1 м/с – этой градации соответствуют наибольшая вероятность, которая в зимний период составляет 83–86%, в летний – более 40%.

*Расчет возможной выработки электроэнергии ВЭУ.* Для энергоснабжения г. Верхоянска можно использовать ветроэнергетические установки фирмы Nordwind, Turbowinds (Германия) различной единичной мощности: 150, 270, 400 и 850 кВт. Стартовая скорость рассматриваемых ВЭУ – 3–4 м/с. Все установки обладают механизмом аварийной остановки при превышении скорости ветра 25 м/с [1, 4].

В расчетах возможной выработки электроэнергии ВЭУ использованы среднегодовая скорость ветра, высота флюгера, на которой был произведен замер скорости, вероятности распределения скоростей ветра по градациям в течение года, а также данные рабочих характеристик ветроустановок и высота их ветробашен.

При расчете учтены наличие скоростей ветра более 25 м/с, при которых срабатывает буревая защита ветроагрегатов с их остановкой. В связи с этим данные по градациям скоростей ветра выбраны в соответствии с рабочими характеристиками ВЭУ: от стартовой скорости ветроагрегата (4–5 м/с) до буревой – конца диапазона рабочей скорости (25 м/с).

Как известно, с возрастанием высоты скорость ветра увеличивается. Для ВЭУ различной мощности высота ветробашни неодинакова. Так, для ВЭУ NW 22–150 NY она составляет 30,7 м, для Turbowinds T-400-34 – 34 м, для NW 44-850 VN – 44 м, для Sudwind – 41,7 м. Поэтому для более точного определения возможной выработки электроэнергии ВЭУ произведен пересчет скорости ветра на высоту ветробашни установки.

Расчетная выработка электроэнергии в ветровых условиях г. Верхоянска ВЭУ различной единичной мощности изменяется от 58 до 412 тыс. кВт·ч/год, коэффициент использования установленной мощности – от 4,4 до 7,3% (табл. 1).

Анализ результатов расчетов возможной выработки электроэнергии показывает, что для различных типов ВЭУ начальная выработка электроэнергии происходит при различных скоростях ветра. Так, для ВЭУ NW 22-150 NY из-за меньшей высоты ветробашни выпадают из рабочего диапазона скорости ветра на высоте флюгера до 3 м/с, в то время как у более мощных установок этот диапазон скоростей в пересчете на высоту ветробашни позволяет вырабаты-

вать электроэнергию. Исходя из результатов проведенных расчетов можно сделать вывод, что наилучшими показателями для применения в условиях г. Верхоянска обладает ветроустановка Sudwind мощностью 270 кВт (КИУМ = 7,3%).

**Таблица 1**

Расчетная выработка электроэнергии и коэффициент использования установленной мощности ВЭУ различных типов

Тип ВЭУ	Выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч/год	Коэффициент использования установленной мощности, %
NW 22-150 NY (150 кВт)	57,9	4,4
Turbowinds T-400-34 (400 кВт)	168,4	4,8
NW 44-850 VN (850 кВт)	412,4	5,9
Sudwind (270 кВт)	173,7	7,3

*Оценка экономической эффективности применения ВЭС.* Для выбора оптимальной мощности ВЭС были проведены исследования с учетом совмещения графиков потребления и выработки электроэнергии ВЭС различной суммарной мощности. Критерием оптимальности при выборе мощности является минимальное соотношение между затратами на сооружение ВЭС и стоимостью вытесненного дизельного топлива или простой срок окупаемости.

В исследованиях первоначально рассмотрено три варианта покрытия графика потребления электроэнергии при различной суммарной мощности ВЭС:

- 1 – минимальное, обеспечивающее практически полное использование выработки ВЭС, возможной по показателям ветропотенциала;
- 2 – промежуточное покрытие;
- 3 – максимально полное покрытие потребности за счет выработки ВЭС (максимальная мощность), при котором полностью замещается ДЭС.

В вариантах 1 и 2 часть потребности в электроэнергии в зимний период покрывается существующей ДЭС. В летнее время электроэнергию от ВЭС возможно использовать на цели горячего водоснабжения, особенно в вариантах 2 и 3.

На рис. 5 представлены варианты совмещения графиков потребления электроэнергии и выработки ВЭС суммарной мощностью 2,7; 13,5 и 54 МВт. Исходя из

возможной выработки ВЭС и графика потребления электроэнергии для варианта полного покрытия потребности необходимо 200 шт. установок *Sudwind*, для минимального варианта (полного использования возможной выработки ВЭС) – 10 шт. Кроме того, представлен промежуточный вариант мощностью 13,5 МВт с количеством установок рассматриваемого типа 50 шт.

Следует отметить, что для более полного анализа полученных результатов в расчетах рассмотрено значительно большее количество вариантов. Далее для каждого варианта определялась полезная выработка электроэнергии от ВЭС, расчет которой производится посредством последовательного сравнения значений потребления и выработки энергии в течение каждого месяца.

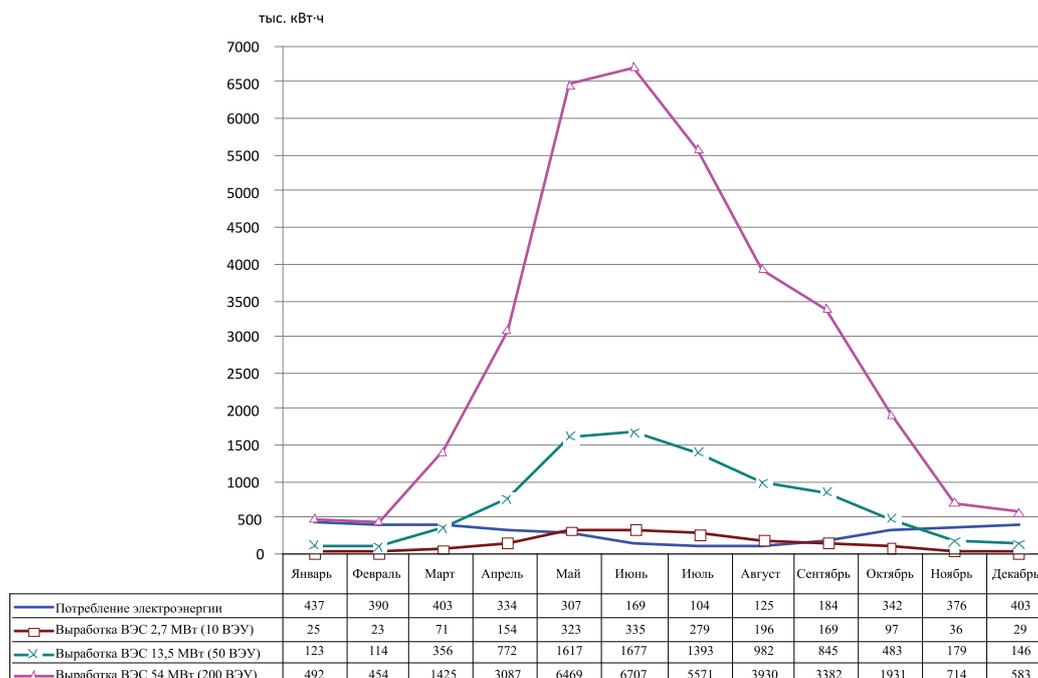


Рис. 5. Совмещение графиков потребления и возможной выработки электроэнергии ВЭС различной суммарной мощности

Совмещение графиков потребления и выработки электроэнергии, а также расчетные значения полезной выработки электроэнергии ВЭС различной суммарной мощности показали, что вариант 3 (суммарная мощность ВЭС 54 МВт) заведомо не эффективен, поскольку полезная выработка электроэнергии по сравнению с промежуточным вариантом (мощность ВЭС 13,5 МВт) увеличилась лишь в 1,4 раза, а капиталовложения (увеличение количества установок) – в 4 раза.

В зависимости от суммарной мощности ВЭС изменяются не только доля покрытия потребности в электроэнергии, но и соответственно объем вытесняемого дизельного топлива с ДЭС и суммарные капиталовложения в ВЭС.

На основе полезной выработки электроэнергии ВЭС, стоимостных показателей ветроустановок, цены дизельного топлива определялись объем и стоимость вытесненного топлива на ДЭС и капиталовложения в ВЭС рассматриваемой мощности.

В результате расчетов для сравнения вариантов и выбора приоритетного направления определены сроки окупаемости проектов сооружения ВЭС различной суммарной мощности в г. Верхоянске (табл. 2).

Анализ полученных результатов показывает, что в диапазоне мощностей до 2,7 МВт, где полностью используется вся возможная выработка ВЭС, срок окупаемости практически не зависит от мощности (количества установок), поскольку рост мощности пропорционален росту выработки.

При повышении мощности происходит значительное увеличение срока окупаемости. Это объясняется тем, что часть возможной выработки электроэнергии не используется из-за несовпадения графиков потребления электроэнергии и ее выработки ВЭС – полезная выработка становится меньше возможной по показателям потенциала ветроэнергетических ресурсов. При этом мощность ВЭС растет соразмерно количеству установок и затраты на сооружение ВЭС возрастают в большей степени,

чем увеличивается стоимость топлива, вытесненного в результате функционирования ветроэнергетической станции. Но даже для

наилучших соотношений выработки и мощности срок окупаемости проектов сооружения ВЭС составляет 20–25 лет.

**Таблица 2**

Технико-экономические показатели вариантов ВЭС различной мощности

Показатель	Мощность ВЭС, МВт (количество установок <i>Sudwind</i> , шт.)								
	0,27 (1)	0,81 (3)	1,35 (5)	2,7 (10)	8,1 (30)	13,5 (50)	21,6 (80)	27 (100)	54 (200)
Полезная выработка электроэнергии ВЭС, тыс. кВт·ч	174	521	834	1308	2062	2482	2865	3089	3574
Объем вытесненного топлива ДЭС, т у.т.	71,3	213,6	341,9	536,3	845,4	1017,6	1174,7	1266,5	1465,3
Стоимость топлива, млн руб.	1,5	4,4	7,0	10,9	17,2	20,8	24,0	25,8	29,9
Стоимость ВЭС, млн руб.	28	85	142	284	851	1418	2268	2835	5670
Срок окупаемости, лет	19,5	19,5	20,3	25,9	49,3	68,3	94,6	109,7	189,7

На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что использование энергии ветра для энергоснабжения децентрализованных потребителей на большей части Республики Саха (Якутия) экономически неэффективно и может быть оправданным только в самых арктических районах, где среднегодовые скорости ветра составляют 4–6 м/с.

**Опыт эксплуатации ВЭУ в п. Тикси**

25 сентября 2007 г. в п. Тикси Булунского улуса была пущена в эксплуатацию ветроэлектрическая станция мощностью 250 кВт. Это первая ВЭС в республике в условиях вечной мерзлоты, за полярным кругом, на берегу Ледовитого океана. Эта станция уже эксплуатировалась до этого в Германии 20 лет.

Особым достоинством строительства ВЭС являются малые сроки строительно-монтажных работ при вводе новой мощности. Это практически доказано при строительстве фундамента ВЭС в п. Тикси. На

монтаж установки всего затрачен один месяц с учетом остановок монтажа при больших порывах ветра. За период с 25.09.2007 по 31.10.2011 г. ВЭУ-250 выработала 294 тыс. кВт·ч электроэнергии, что в переводе на экономию дизельного топлива составило 66,2 т, в денежном выражении 1590 или 400 тыс. руб. в год.

Если учесть, что общая стоимость покупки, транспортировки и установки ВЭУ-250 в Тикси равнялась 23120 тыс. руб., то при той экономии дизтоплива, которая фактически была получена за 4 года работы ветроэлектростанции и которая в будущем сохранится на том же уровне, окупаемость проекта составит 58 лет.

Из-за отказов и неполадок в работе ВЭУ с 25.09.2007 по 19.03.2009 г. (509 дней) станция не работала 251 день (49%). Причина – суровые арктические климатические условия (низкая температура воздуха в ноябре-декабре и повышенные скорости ветра в октябре) (табл. 3).

**Таблица 3**

Отказы и неполадки в работе ВЭУ в п. Тикси за 2007–2011 гг.

Отказы	Причины	Период простоя	Устранение
Выход мощности за пределы допустимого	Неисправность компьютера, сильные ветра, т.е. резкие порывы	03.10.2007–04.10.2007	Поворот гондолы на 40 град. налево к ветру, отрегулирован автомат по максимальному току
Выход из строя азиатного двигателя	Износ двигателя	05.10.2007–09.10.2007	Установлен новый двигатель
Отказ гидравлической системы	Низкая температура, застывание масла	01.11.2007–28.11.2007	Замена масла на более низкотемпературное
Аварийная остановка	Низкая температура	26.12.2007–28.12.2007	Самоустранилась
Выход из строя анемометра	Причина не установлена	10.01.2008–31.03.2008	Установлен новый анемометр
Пробой соединительной муфты 6 кВ	Старение изоляции самой муфты	10.04.2008–11.04.2008	Установлена новая муфта
Выход из строя анемометра, румбометра	Снос ветром крыши ВЭУ	20.10.2008–19.03.2009	Установлен новый анемометр, румбометр

К достоинствам ВЭУ-250 можно отнести:  
 – экономию дизельного топлива;  
 – отсутствие выбросов вредных веществ в атмосферу;  
 – автоматизированность, отсутствие дежурного персонала.

Фактически установленные недостатки следующие:

– частые выходы из строя оборудования из-за суровых климатических условий (холод, сильные ветры), износ материалов (старение изоляции);

– отсутствие дистанционных датчиков выдачи мощности в сеть, скорости ветра, технического состояния оборудования;

– неудачное расположение станции: ВЭУ закрыта возвышенностью от преобладающих направлений ветров, дующих со стороны моря.

Пятилетний опыт эксплуатации ветроэлектростанции мощностью 250 кВт в условиях Якутии позволяет сделать следующие выводы и выдвинуть требования:

1. Оборудование должно быть новое.
2. Без гидравлической системы торможения.
3. Безредукторная модель (Direct drive).
4. С регулируемым углом атаки лопастей (Pitch control).
5. Возможность автономной работы.
6. Монтаж без использования автокрана.
7. Максимальная мощность 150 кВт.
8. Удаленное управление с правом доступа 100%.
9. Выбор места установки с учетом характера скорости и направления ветра.

#### Список литературы

1. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, С.В. Белкина, Г.В. Дерюгина и др. / под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ООО фирма «ВИЭН», 2004. – 448 с.

2. Высокопроизводительная ветроэлектрическая установка NW 22-150 НУ // Стандарт номенклатуры. – 2008. – 29 с.

3. Зубарев В.В., Минин В.А., Степанов И.Р. Использование энергии ветра в районах Севера: Состояние, условия эффективности, перспективы. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. – 208 с.

4. Справочник по климату СССР. Вып.24. Якутская АССР. Ч.II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 397 с.

5. Справочник по климату СССР. – Вып. 24. Якутская АССР. – Ч.3. Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 271 с.

#### References

1. Vissarionov V.I., Belkina S.V., Derjugina G.V. i dr. Jenergeticheskoe oborudovanie dlja ispolzovanija netradicionnyh vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии. / Pod red. V.I. Vissarionova. M.: ООО фирма «VIEN», 2004. 448 p.

2. Vysokoproizvoditelnaja vetrojelektricheskaja ustanovka NW 22-150 НУ/Standart nomenklatury. 2008. 29 p.

3. Zubarev V.V., Minin V.A., Stepanov I.R. Ispolzovanie jenerгии vetra v rajonah Severa: Sostojanie, uslovija jeffektivnosti, perspektivy. L.: Nauka. Leningr. otd-nie, 1989. 208 p.

4. Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp.24. Jakutskaja ASSR. Ch1. Temperatura vozduha i pochvy. L.:Gidrometeizdat, 1965.-397 p.

5. Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 24. Jakutskaja ASSR. Ch. 3. Veter. L.: Gidrometeizdat, 1967. 271 p.

#### Рецензенты:

Кобылин В.П., д.т.н., старший научный сотрудник, зав.отделом электроэнергетики ИФТПС СО РАН ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФТПС СО РАН), г. Якутск;

Афанасьев Д.Е., д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук» (ИФТПС СО РАН), г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 09.01.2013.