

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Шакиров В.А.¹, Ноговицын Д.Д.², Ефимов А.С.³, Шеина З.М.², Сергеева Л.П.²

¹ФГБОУ ВПО Братский государственный университет (ФГБОУ ВПО БрГУ), г. Братск, Россия (665700, г. Братск, ул.Макаренко,40), e-mail: mynovember@mail.ru

²ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия (677980, Якутск, ул.Октябрьская,1), e-mail: dnogovicyn@yandex.ru

³ОАО «Сахаэнерго», Якутск, Россия (677980, Якутск, пер.Энергетиков,8) e-mail: efimov@sakhaenergo.ru

Рассмотрены возможности использования ветроэнергетического потенциала северных территорий Республики Саха (Якутия). Исследование анализа эффективности использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) проводилось по 27 населенным пунктам северных улусов на территории Якутии. Проведен анализ выработки ВЭУ электроэнергии для рассматриваемых пунктов. Учитывая неравномерность проявления во времени возобновляемых энергоресурсов, большинство энергетических объектов на базе их использования рассмотрены как дополнительные, эксплуатация которых позволит частично снизить расход органического топлива. Исследованы ветроэнергетические установки (ВЭУ) арктического исполнения с возможностью автономной работы, удаленного управления и контроля работы. Выявлены наиболее эффективные с экономической точки зрения типы ветроэнергетических установок для населенных пунктов Юрюнг-Хая, Саскылах, Таймылыр, Усть-Оленек, Быков мыс, Тикси, Найба. Выбор количества и единичной мощности ВЭУ для использования в пунктах с высоким экономическим ветропотенциалом требует дополнительного технико-экономического анализа.

Ключевые слова: электроснабжение, возобновляемые источники энергии, ветроэнергетика, ветроэнергетические установки.

ANALYSIS OF THE WIND ENERGY EFFICIENCY IN NORTHERN AREAS OF THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

Shakirov V.A.¹, Nogovitsyn D.D.², Efimov A.C.³, Sheina Z.M.², Sergeeva L.P.²

¹Federal State Educational Institution of Higher professional education State university of Bratsk (FSEI HPE SUBr), Bratsk, Russia (665700, 40, Makarenko, Bratsk), e-mail: mynovember@mail.ru

²Federal State Scientific Institution the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, Russia (677980, 1 Oktyabrskaya Str, Yakutsk), e-mail: dnogovicyn@yandex.ru

³Open Stock company "Sakhaenergo", Yakutsk, Russia (677980, 8 Energetiks lane, Yakutsk), e-mail: efimov@sakhaenergo.ru

Considered are the possibilities of use of the wind energy potential on the Northern territories in the Sakha Republic (Yakutia). The study analysis of efficiency of the wind-energetic turbines (WET) use was carried out in 27 settlements of the Northern regions on the territory of Yakutia. The analysis of the power generation by WET has been conducted in these settlements. Taking into account the uneven time demonstrations of renewable energy resources, the majority of power facilities on the basis of their use are considered as additional. Their operation will partially reduce the consumption of fossil fuels. The wind power plants (WPP) of the Arctic fulfillment with the possibility of autonomous work, remote management and control of work have been investigated. The most cost-effective types of wind-driven power plants for the settlements of Yuryung-Khaya, Saskylakh, Taimylyr, Ust '-Olenek, Bykov's Cape, Tiksi, Naiba have been identified. The choice of the number and capacity of wind turbines for the use in areas with high economic wind potential requires additional technical-economic analysis.

Keywords: power supply, renewable energy sources, wind power, wind power plants

В соответствии с энергетической стратегией России на период до 2030 года, одной из задач развития электроэнергетики является развитие малой энергетики в районах, удаленных от централизованной системы электроснабжения [6]. Большая часть (60%) территории Республики Саха (Якутия) относится к зоне децентрализованного электроснабжения на базе источников электроэнергии малой мощности, преимущественно дизельных электростанций

(ДЭС) [5]. 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 [1]. Очевидным путем повышения энергоэффективности таких зон является максимальное использование местных возобновляемых энергоресурсов. По сравнению с энергоисточниками, использующими дорогое привозное органическое топливо, возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются более экономичными и экологически чистыми [2]. Параллельная работа возобновляемых источников энергии с дизельными электростанциями позволит получить значительную экономию жидкого топлива.

Экономический потенциал ВИЭ зависит от существующих экономических условий, стоимости, наличия и качества запасов топливно-энергетических ресурсов, а также региональных особенностей. Указанный потенциал меняется во времени и должен специально оцениваться в ходе подготовки и реализации конкретных программ и проектов по развитию возобновляемых источников энергии [6].

Республика Саха (Якутия) обладает значительным ветроэнергетическим потенциалом. Анализ среднегодовых скоростей ветра метеостанций Якутии показал, что скорость более 3 м/с превалирует в северной части республики [3, 4].

Развитие ветроэнергетики в районах с холодным климатом имеет ряд специфических особенностей. Необходимо использовать ветроэнергетические установки (ВЭУ) арктического исполнения без гидравлической системы торможения, без редуктора, с регулируемым углом атаки лопастей, возможностью автономной работы, удаленного управления и контроля работы. Кроме того, необходимо учитывать проблемы транспортировки ВЭУ и ее установки на площадке в условиях слабо развитой транспортной инфраструктуры. В модели ВЭУ должны использоваться специальные хладостойкие сорта стали. Низкотемпературную синтетическую смазку для ключевых подшипников и подшипников генератора, синтетические масла для редуктора следует применять повсеместно в условиях арктического и холодного климата, даже если для этого нет необходимости по условиям зимней минимальной температуры. Для гидравлических систем ВЭУ должна использоваться жидкость, подходящая для низких температурных условий. Необходим обогрев контроллера ВЭУ, датчика направлений ветра и анемометра. Предохранение лопастей ВЭУ от обледенения может осуществляться с помощью нанесения антиобледенительной краски, имеющей свойство отталкивания воды. Также возможно

покрытие поверхностей модулей ВЭУ антиобледенительным раствором. Таким образом, при выборе модели ВЭУ необходим подробный анализ технических характеристик и оценка условий работы.

В исследовании рассматриваются ВЭУ, в максимальной степени отвечающие перечисленным требованиям: Northern Power (NP) 100 Arctic, горизонтально-осевые ВЭУ ГРЦ-Вертикаль, Atlantic Orient Corporation 15/50. Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики ВЭУ

Производитель	Northern Power	ГРЦ-Вертикаль						АОС
		0,75	1,5	2	3	5	10	
Мощность, кВт	100	0,75	1,5	2	3	5	10	50
Номинальная скорость, м/с	15	9	9	9	10	10	11	12
Стартовая скорость, м/с	3	2,5	2,5	3	3	3	3	4,6
Мачта, м	37	12	12	12	12	12	12	25
Стоимость, тыс. руб	17850	238	281	318	347	838	1618	4310

Исходными данными для анализа в исследовании являются измерения, проводимые на метеостанциях Республики Саха (Якутия), за период с 2001 по 2012 год. При анализе было сделано допущение о линейном изменении скорости ветра между измерениями, таким образом, были получены значения скорости ветра в каждый час суток. Кроме того, скорость ветра, измеренная на высоте флюгера метеостанции, приводилась к высоте ротора ВЭУ по выражению:

$$V_i = V_{изм} \left(\frac{H_i}{H_{изм}} \right)^m \quad (1)$$

где V_i – скорость ветра на высоте ротора ВЭУ H_i , м/с, $V_{изм}$ – скорость ветра на высоте флюгера метеостанции $H_{изм}$, м/с, m – степенной коэффициент, зависящий от сезона и скорости ветра, принимается 0,2 [5].

Энергия, вырабатываемая ВЭУ за период, определялась по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^N P(V_i) T_i, \quad (2)$$

где $P(V_i)$ – электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра V_i на i -м интервале измерения, кВт; T_i – продолжительность интервала измерения, ч. Значения $P(V_i)$ для каждого часа измерения определяются по мощностной характеристике ВЭУ.

Мощностная характеристика представляет собой зависимость мощности ВЭУ от скорости ветра. Исследование проводилось по 27 населенным пунктам Анабарского, Оленекского, Булунского, Усть-Янского, Аллаиховского, Нижнеколымского улусов.

Экономическая эффективность использования ВЭУ в исследовании оценивалась чистым дисконтированным доходом (ЧДД):

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T (\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}} - I_t) (1+r)^{-t} - K, \quad (3)$$

где T – расчетный период (11 лет); $\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}}$ – экономия горюче-смазочных материалов (ГСМ) ДЭС за год t , тыс. руб; I_t – издержки, связанные с эксплуатацией ВЭУ, в год t , тыс. руб; r – норма дисконта, принятая 0,1; K – капитальные вложения в ВЭУ, тыс. руб.

$$\mathcal{E}_t^{\text{ГСМ}} = \Delta B_t^{\text{монл}} C_t^{\text{монл}} + \Delta B_t^{\text{М}} C_t^{\text{М}}, \quad (4)$$

где $\Delta B_t^{\text{монл}}$ – сэкономленное дизельное топливо в год t , т; $C_t^{\text{монл}}$ – цена дизельного топлива в год t , тыс. руб/т; $\Delta B_t^{\text{М}}$ – сэкономленное масло в год t , т; $C_t^{\text{М}}$ – цена масла в год t , тыс. руб/т.

Изменение цен за расчетный период определялось по формуле:

$$C_t = C_{t_0} (1 + \pi_{\text{ГСМ}})^{t-t_0}, \quad (5)$$

где C_{t_0} – цена в первый год t_0 , тыс. руб/т; $\pi_{\text{ГСМ}}$ – параметр роста цен на ГСМ.

Рост цен на ГСМ принят по результатам анализа динамики индексов цен на приобретенное промышленными организациями дизельное топливо.

Средний индекс цен за период 2005-2011 составляет 116,37. Для сценария умеренного и быстрого роста цен приняты, соответственно, индексы 110 и 120. Таким образом, $\pi_{\text{ГСМ}} = 0,1; 0,1637; 0,2$ для трех сценариев.

Предполагается, что ВЭУ будет работать совместно с дизельным генератором Г-72. Расход топлива Г-72 составляет 223,2 г/кВт·ч, масла – 1,22 г/кВт·ч.

Ежегодные эксплуатационные издержки в исследовании определяются:

$$I_t = (I_t^{\text{ам}} + I_t^{\text{рем}} + I_t^{\text{пр}}) (1 + \pi_u)^{t-t_0}, \quad (6)$$

где $I_t^{\text{ам}}$ – амортизационные отчисления, принятые в исследовании 5% от капитальных вложений, тыс. руб; $I_t^{\text{рем}}$ – отчисления на капитальный и текущий ремонт, принятые в исследовании 2,5% от капитальных вложений, тыс. руб; $I_t^{\text{пр}}$ – прочие издержки, принятые 0,5% от капитальных вложений; π_u – параметр учета роста цен, принятый равным уровню инфляции 0,07.

Для расчета выработки ВЭУ по (2) с использованием мощностных характеристик ВЭУ и данных наблюдений метеостанций, совмещения графиков выработки ВЭУ с суточными графиками электрических нагрузок потребителей населенных пунктов использовался программный комплекс WindMC-Analyzer. Программный комплекс позволяет рассчитывать статистические показатели изменения скорости ветра, проводить экономический анализ.

Результаты расчета возможной выработки ВЭУ, востребованной потребителями электроэнергии за период, показал, что из рассмотренных ВЭУ наиболее эффективной можно считать ВЭУ АОС-15/50 для пунктов с высокими электрическими нагрузками и ВЭУ ГРЦ-Вертикаль 3, 2, 5 кВт для пунктов с малыми электрическими нагрузками.

Электроэнергия ВЭУ мощностью до 10 кВт востребована в подавляющем большинстве пунктов в течение суток, для ВЭУ мощностью 50, 100 кВт необходимо исследовать вопросы целесообразности аккумуляции электрической энергии, так как в определенные часы вырабатываемая электрическая энергия не востребована. Вопрос выбора оптимального количества и мощности ВЭУ для каждого пункта требует дополнительных исследований.

В районах с малой скоростью ветра ЧДД и срок окупаемости практически не зависит от динамики стоимости ГСМ. С повышением скорости ветра влияние становится все существеннее.

На рис. 1. представлены результаты расчета для пунктов, срок окупаемости в которых при использовании рассматриваемых ВЭУ составляет менее 12 лет при принятых параметрах технико-экономического анализа.

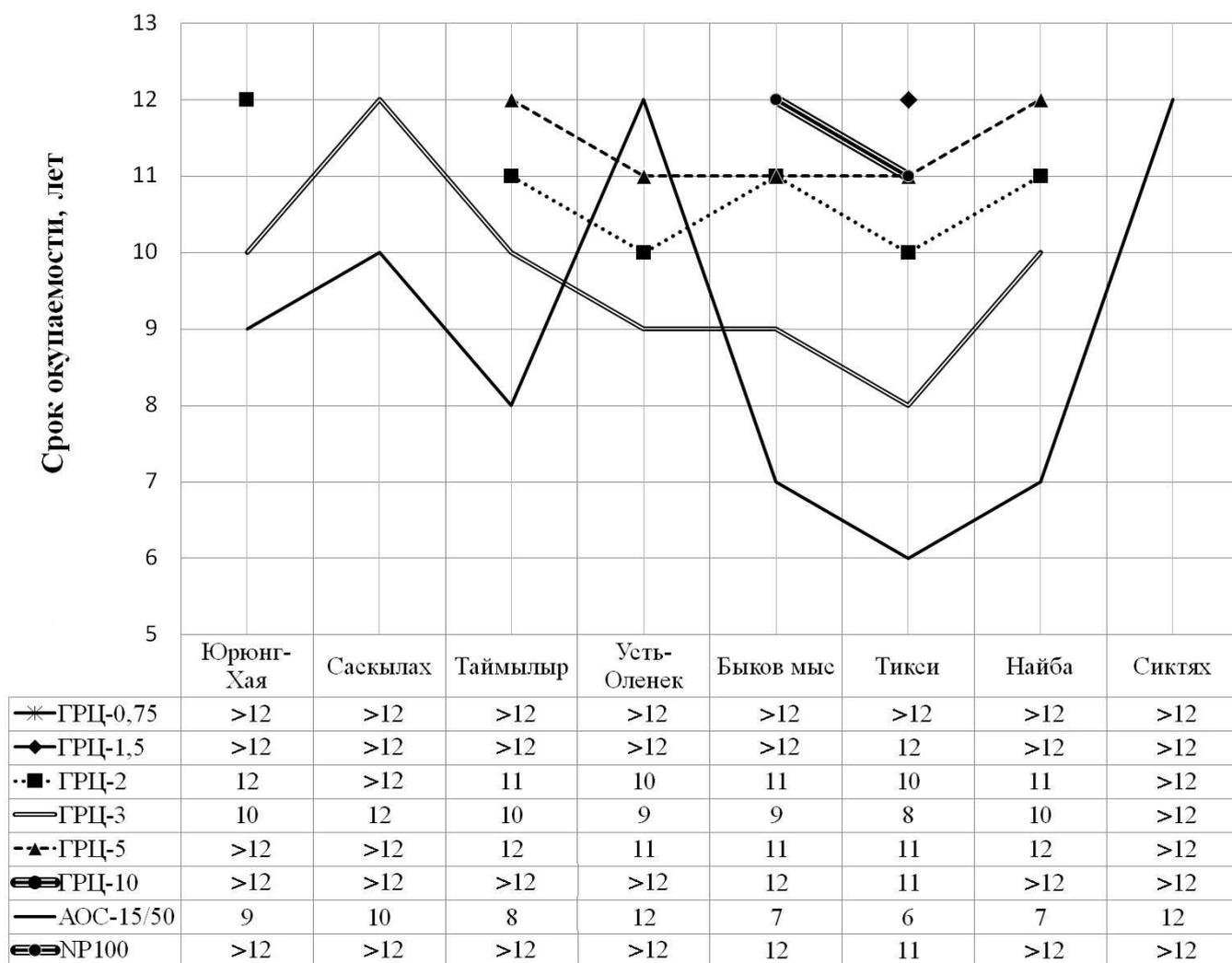


Рис. 1. Результаты расчета сроков окупаемости ВЭУ

Можно отметить, что наименьший срок окупаемости для всех пунктов имеет ВЭУ АОС-15/50, за исключением пункта Усть-Оленек. В п. Усть-Оленек сравнительно низкие электрические нагрузки и электроэнергия, вырабатываемая АОС-15/50, будет не востребована. В целом же можно отметить, что сравнительная эффективность рассматриваемых ВЭУ сохраняется для всех пунктов: наиболее эффективна АОС-15/50, меньшей эффективностью обладают ВЭУ ГРЦ-Вертикаль 3, 2, 5 кВт. Практически равны по экономической эффективности Northern Power 100, ВЭУ ГРЦ-Вертикаль 10 и 1,5 кВт.

Для определения технической эффективности с помощью программы WindMC-Analyzer проведен расчет выработки электроэнергии по всем рассматриваемым ВЭУ. При построении графиков выработка электроэнергии за период 2001-2012 гг. была приведена к 1 кВт установленной мощности. Наиболее эффективна с рассматриваемых позиций ВЭУ ГРЦ-Вертикаль 0,75 кВт. В то же время экономическая эффективность этой ВЭУ самая низкая. Напротив, АОС-15/50 дает одну из наименьших выработок на 1 кВт установленной

мощности, однако является одной из самых экономически эффективных. Данное несоответствие можно объяснить нелинейным снижением стоимости каждого дополнительного кВт установленной мощности ветроэнергетических установок. Стоимость каждого последующего кВт снижается, что повышает экономическую эффективность мощных ВЭУ. Технически более высокую эффективность показывают ВЭУ малой мощности – на 1 кВт установленной мощности осуществляется большая выработка.

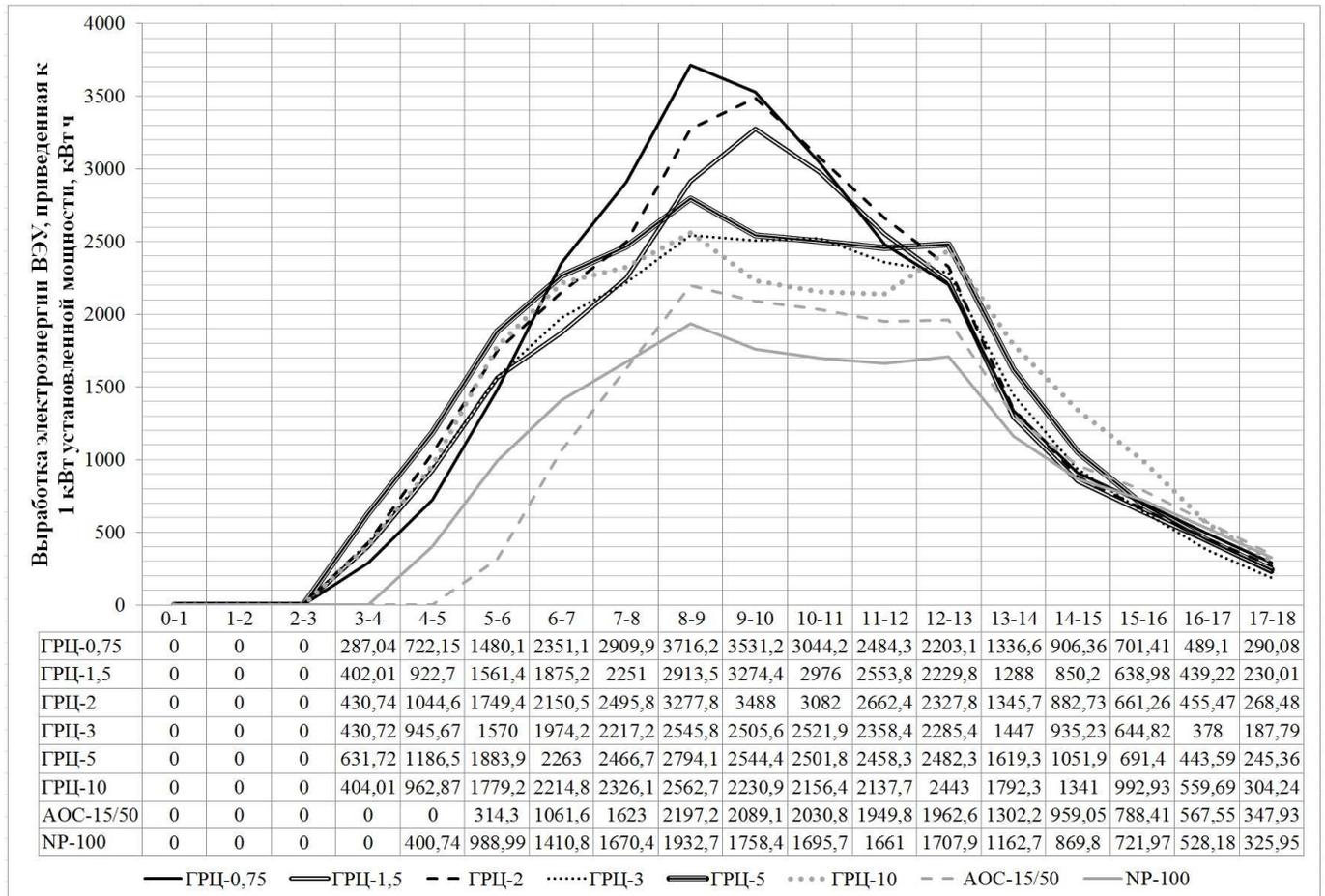


Рис. 2. Выработка электроэнергии за период 2001-2012 гг. по грациям скорости ветра, приведенная к 1 кВт установленной мощности ВЭУ

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Развитие ветроэнергетики в районах с холодным климатом имеет ряд специфических особенностей. Необходимо использовать ВЭУ арктического исполнения, при выборе модели ВЭУ необходим подробный анализ технических характеристик и оценка условий работы.
2. Ветроэнергетический потенциал северных территорий Республики Саха (Якутия) и существующие экономические условия достаточны для эффективного использования ВЭУ в отдельных районах при принятых в исследовании допущениях.

Так, при сохранении существующих темпов роста на дизельное топливо, могут быть экономически эффективными проекты использования ВЭУ в пунктах: Юрюнг-Хая, Саскылах, Таймылыр, Усть-Оленек, Быков мыс, Тикси, Найба.

Даже при снижении темпов роста цен на дизельное топливо в п. Быков мыс, Тикси, Найба можно реализовать экономически эффективные проекты использования ВЭУ.

При повышении темпов роста цен на дизельное топливо в п. Сиктях также могут быть реализованы экономически эффективные проекты использования ВЭУ.

3. Из рассмотренных ВЭУ наиболее эффективной можно считать ВЭУ АОС-15/50 для пунктов с высокими электрическими нагрузками и ВЭУ ГРЦ-Вертикаль 3, 2, 5 кВт для пунктов с малыми электрическими нагрузками.

4. Наибольший «вклад» в выработку электрической энергии вносят скорости ветра 7-13 м/с. Выработка электроэнергии на скоростях 3-4 м/с практически незначительна. Требование для ВЭУ иметь как можно меньшую стартовую скорость фактически не влияет на экономическую эффективность. Например, из рассмотренных ВЭУ АОС-15/50 показывает самую высокую экономическую эффективность, при этом имеет самую большую стартовую скорость 4,6 м/с.

5. Большую техническую эффективность имеют ВЭУ малой мощности, так как на 1 кВт установленной мощности они производят большую выработку электрической энергии. Однако экономически выгоднее ВЭУ большой мощности. Выбор количества и единичной мощности ВЭУ для использования в пунктах с высоким экономическим ветропотенциалом требует дополнительного технико-экономического анализа.

Список литературы

1. Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Тугузова Т.Ф., Шеина З.М., Сергеева Л.П. «Ветроэнергетические ресурсы г. Верхоянска Республики Саха (Якутия) и возможность их использования для энергоснабжения» // Фундаментальные исследования. – 2013. - №4(1). – С. 30-38.
2. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: – М.: Энергоатомиздат. – 2008. – 231 с.
3. Ноговицын Д.Д. Проблемы и возможности использования природных возобновляемых источников энергии на северных территориях // Сб.докл. всеросс. конф. «Энергетика России в XXI веке: Проблемы и научные основы устойчивого и безопасного развития. – Иркутск, 2001. – С. 387-392.

4. Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Ч.3. Ветер. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 271 с.
5. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 г. [Под ред. Алексеева Г.Ф., Петрова Н.А.] – Якутск, 2010. – 327 с.
6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года //Прил. к обществ.-дел. журналу «Энергетическая политика» – М.: ГУ Институт энергетической стратегии, 2010. – 184 с.

Рецензенты:

Кобылин В.П., д.т.н., с.н.с., зав. отделом электроэнергетики ИФТПС СО РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки 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, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФТПС СО РАН), г. Якутск.