



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКА КРАЙНЕГО СЕВЕРА РФ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Д. К. Кугучева, студентка,
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»
e-mail: kuguchevad@yandex.ru

Рассмотрены проблемы энергоснабжения децентрализованных районов Крайнего Севера на примере пос. Индига Ненецкого автономного округа (НАО). Произведен выбор ветроустановок (ВЭУ) для работы в условиях данного региона. По параметрам ВЭУ была проанализирована выработка электроэнергии в течение восьми лет, тщательному анализу с учетом применения накопителей энергии был подвергнут 2018 год.

Возобновляемые источники энергии, Крайний Север, ветроэнергетическая установка, ветроэлектростанция, децентрализованное электроснабжение

Главными особенностями регионов Крайнего Севера являются громадные территории, низкая плотность населения и большое количество небольших удаленных населенных пунктов. Такие поселения в основном изолированы и имеют слабые транспортные связи с административными центрами и крупными городами.

Обеспечение потребителей электроэнергией в этих районах возможно либо централизованно, либо децентрализованно [1]. Экономическая целесообразность строительства линий электропередачи для электроснабжения поселков зависит от таких показателей, как мощность нагрузок и их удаленность от источников питания. Протяженность ЛЭП при различных уровнях напряжений строго регламентирована и представлена в табл. 1 [2].

Таблица 1 – Пропускная способность линий электропередачи

Напряжение, кВ	Сечение проводов, мм ²	Передаваемая мощность, МВт		Длина ЛЭП, км	
		натуральная	при плотности тока 1,1 А/мм ²	предельная при $\eta=0,9$	средняя между ПС
35	70-150	3	4-10	25	8
110	70-240	30	13-45	80	25
220	240-400	165	90-150	400	100
330	2*240-2*400	360	270-450	700	130

Отсутствие крупных потребителей и значительные расстояния от источников питания большой установленной мощности делают невозможным использование в небольших населенных пунктах централизованного электроснабжения. В результате оно осуществляется в основном изолированными автономными источниками – дизельными электростанциями (ДЭС).

На сегодняшний день проблема децентрализованного электроснабжения удаленных населенных пунктов стоит особенно остро ввиду физического износа действующего оборудования, неэффективности работы дизельных электростанций, высокой стоимости органического топлива и сложной транспортной схемы его доставки [3]. В совокупности все эти факторы приводят к высокой себестоимости производства электроэнергии, тарифы на которую в районах Крайнего Севера в 5-55 раз выше средних по России. Доля расхода бюджета территорий на перекрестное субсидирование и бюджетные дотации для оплаты

энергоснабжения многих регионов Крайнего Севера превышает 30%, а в трех регионах – в Республике Саха, Камчатском крае и Ненецком автономном округе – 60% [4] (рис. 1).

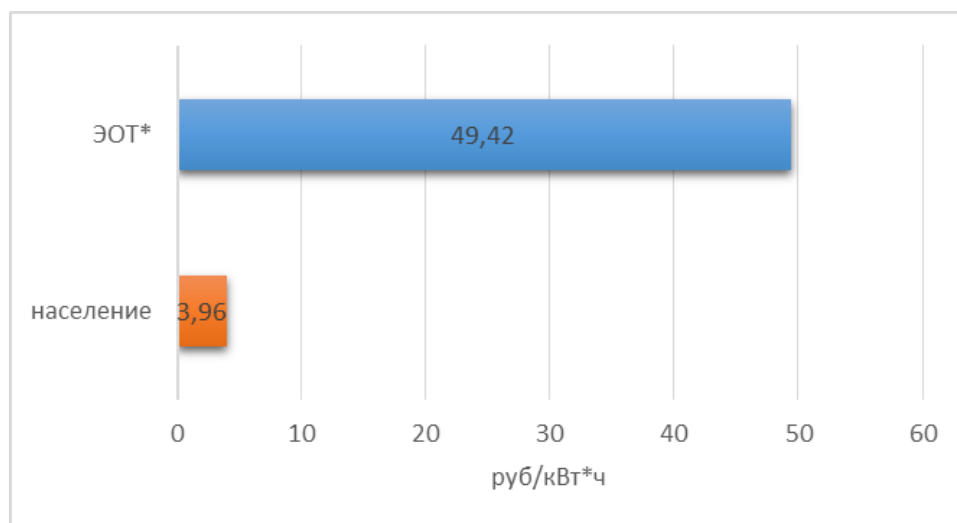


Рисунок 1 – Тарифы на электроэнергию для населения и ОЭТ* для городских округов и поселений Ненецкого автономного округа в 2017 г.

*ОЭТ – экономически обоснованный тариф

Проведенный анализ позволяет констатировать, что необходим переход на более современные и экономически выгодные технологии производства энергии. Ориентироваться следует, прежде всего, на снижение потребления привозного топлива за счет использования местных энергоресурсов.

В качестве объекта анализа был выбран Ненецкий автономный округ, проблемы энергообеспечения в котором связаны с отсутствием централизованной системы электроснабжения и развитой инфраструктуры, сложными климатическими условиями (рис. 2).

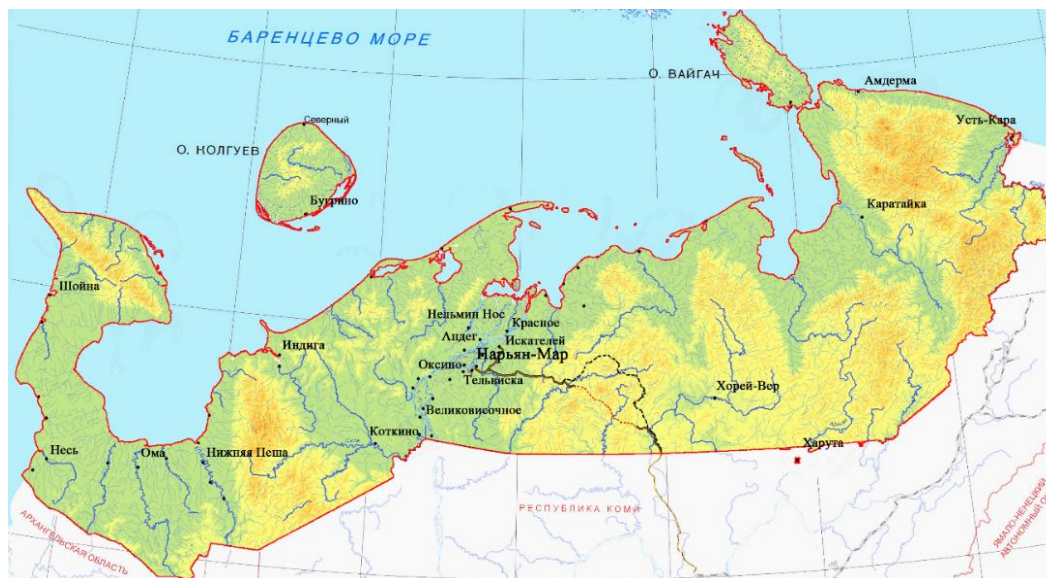


Рисунок 2 – Карта Ненецкого автономного округа

Численность населения Ненецкого автономного округа – 43 940 чел., основная часть которых (31738) проживают в г. Нарьян-Мар и пос. Искателей и обеспечиваются электроэнергией от ГУП НАО «Нарьян-Марская электростанция» с установленной мощностью 38,15 МВт. Оставшаяся часть населения – 27% – проживают в сельских

населенных пунктах, относящихся к труднодоступным и отдаленным местностям, электроснабжение которых осуществляется от автономных дизельных электростанций [5].

Необходимость улучшения системы электроснабжения является актуальной задачей для энергообеспечения данных децентрализованных районов Ненецкого автономного округа ввиду их фрагментарности, обусловленной разрозненным местоположением, что препятствует нормальному техническому обслуживанию электрооборудования и резервированию электроснабжения, а также ввиду дальней транспортировки топлива и ограниченности сроков его сезонного завоза в труднодоступные районы.

Сокращение материальных затрат на обеспечение электроснабжения и улучшение качества электроэнергии сельских поселений возможно путем максимального использования местных возобновляемых энергоресурсов. Наиболее перспективным решением построения энергетических комплексов для данных районов является интеграция в существующую систему электроснабжения ветровых электростанций (ВЭС) с использованием дизельных электроустановок в качестве резервного или аварийного источника питания (рис. 3).

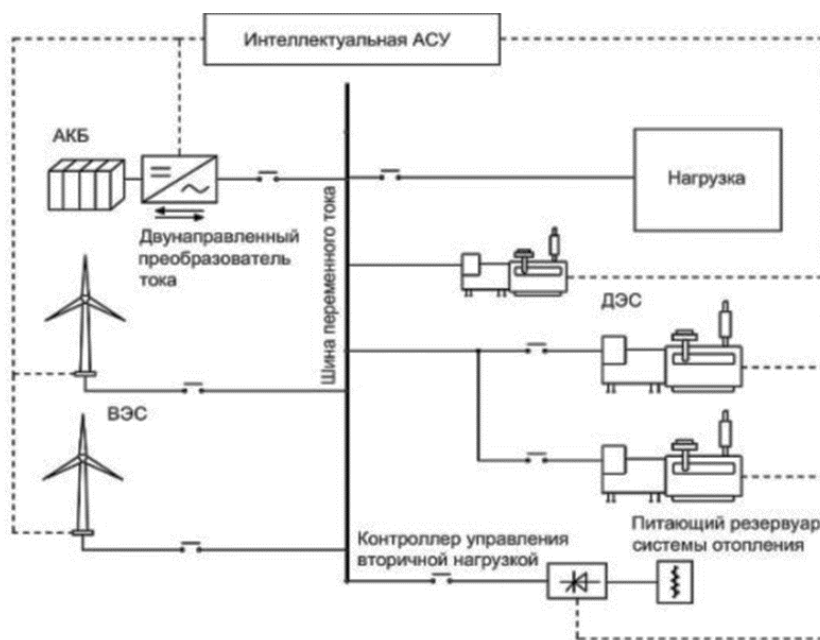


Рисунок 3 – Схема выдачи мощности ВЭС с использованием ДЭС в качестве резервного источника питания

Северные широты располагают повышенным потенциалом энергии ветра, поэтому в странах северной части Европы использование кинетической энергии ветра является одним из самых быстроразвивающихся направлений применения возобновляемых источников энергии [6]. К концу 2017 г. 18 европейских государств преодолели отметку в 1000 МВт установленной мощности ветроэлектростанций. При этом суммарно в трех европейских странах, расположенных на одной широте с НАО (табл. 2), установленная мощность всех ВЭС достигла 9,9 ГВт (рис. 4), что доказывает перспективность использования данного возобновляемого источника энергии в аналогичных с НАО климатических условиях [7].

Таблица 2 – Установленная мощность ветроэлектростанций в странах Европы, расположенных на 69-й параллели северной широты

Государство	Установленная мощность ВЭС на конец 2017 г, МВт	Установленная мощность введенных в 2017 г. ВЭС, МВт
Швеция	6 691	197
Финляндия	2 071	535
Норвегия	1 162	324

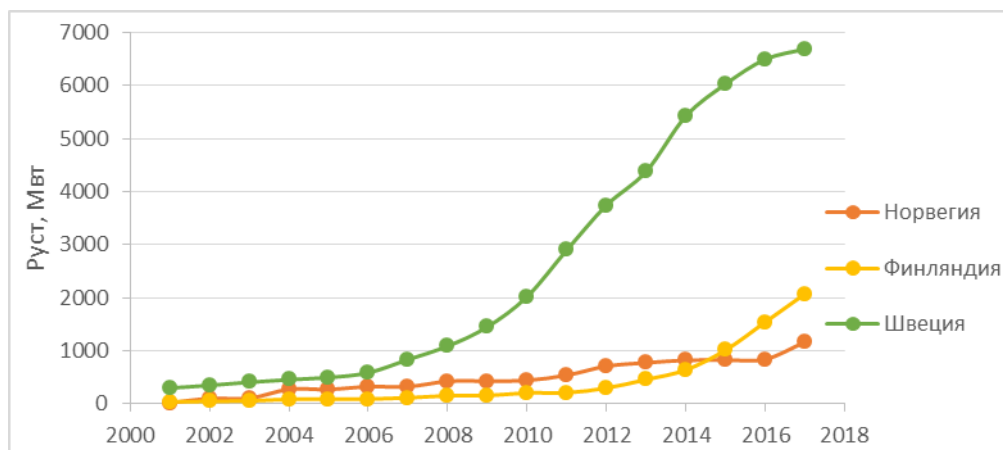


Рисунок 4 – Динамика роста установленной мощности ВЭС

Вследствие сочетания местоположения, ветрового потенциала, существующей системы электроснабжения и перспектив развития населенного пункта в качестве объекта исследования по улучшению энергетической и экономической безопасности с помощью установки ВЭУ был выбран пос. Индига Ненецкого автономного округа, относящийся к территориям активного градостроительного развития [8].

На сегодняшний день основными источниками электроэнергии в данном поселке являются три дизельные электростанции, от которых по воздушным ЛЭП 6 кВ осуществляется передача мощности в границах поселка. Средний износ оборудования составляет примерно 60% [9], что свидетельствует о необходимости обновления системы электроснабжения.

Для выбора ветроэнергетического оборудования был произведен анализ температур и скоростей ветра за 2011 – 2018 гг. [10]. По результатам исследования выборки из более 23 000 значений каждого параметра рабочая температура лежит в пределах от минус 40 до плюс 20°C, повторяемость ветров является наибольшей в промежутке 3-8 м/с (рис. 5). Следовательно, для оптимальной работы в погодных условиях зоны открытой тундры необходим ветрогенератор, способный работать в суровых климатических условиях и имеющий наименьший порог срабатывания и минимальную скорость ветра для выхода установки на номинальную мощность.

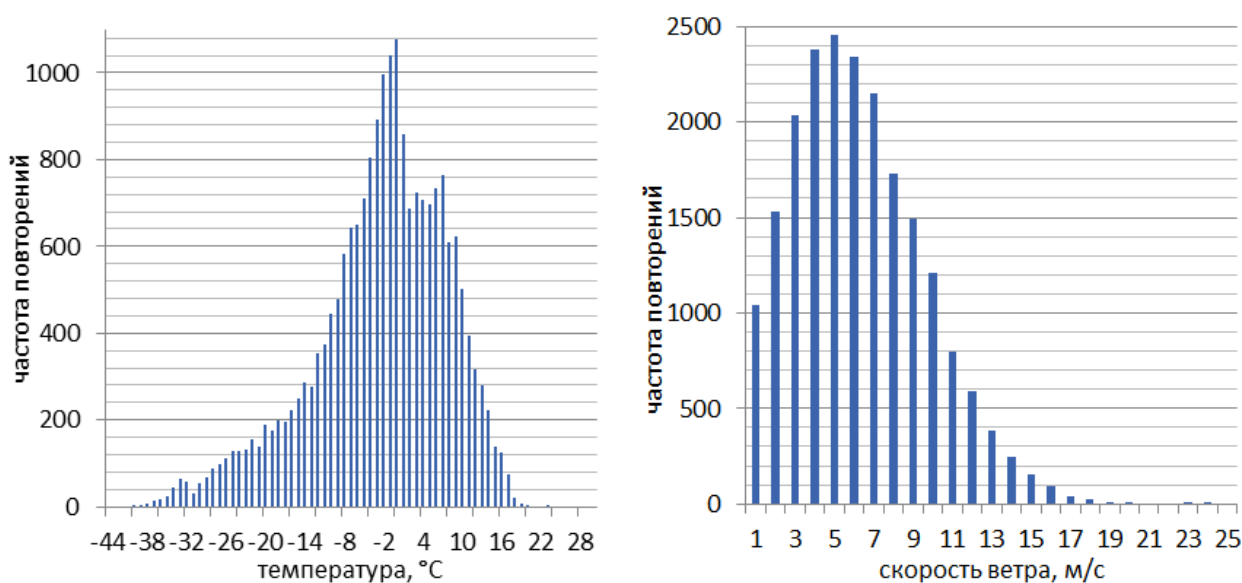


Рисунок 5 – Диаграмма частот повторения результатов измерений температуры и скоростей ветра

Для работы в данных климатических условиях был выбран ряд ветроустановок, применяемых в условиях вечной мерзлоты (табл. 3) [11]. Самой перспективной к установке является ВЭУ российского производства Condor Air 380 номинальной мощностью 60 кВт, имеющая наиболее подходящий для района расположения ветропарка вид кривой зависимости выходной мощности от скорости ветра (рис. 6) [12].

Таблица 3 – Технические характеристики ВЭУ малой мощности для работы в суровых климатических условиях

Модель	NPS Northern Power NPS 100C-21	Seaforth Energy AOC15/50	Norvento nED 100-24	Condor Air 380	NPS Northern Power NPS 100-24 Arctic
Производитель	США	Канада	Испания	Россия	США
Установленная мощность, кВт	100	50	100	60	100
Номинальная скорость ветра, м/с	15	12,5	10	9	12
Минимальная скорость ветра, м/с	3	4,6	3	2,5	3
Предельная скорость ветра, м/с	25	22,4	20	29	25
Диаметр ротора, м	20,7	15	24	17,5	24,4
Тип генератора	Синхрон.	Асинхрон.	Синхрон.	Асинхрон.	Синхрон.
Номинальное напряжение, В	400	480	400	380	400

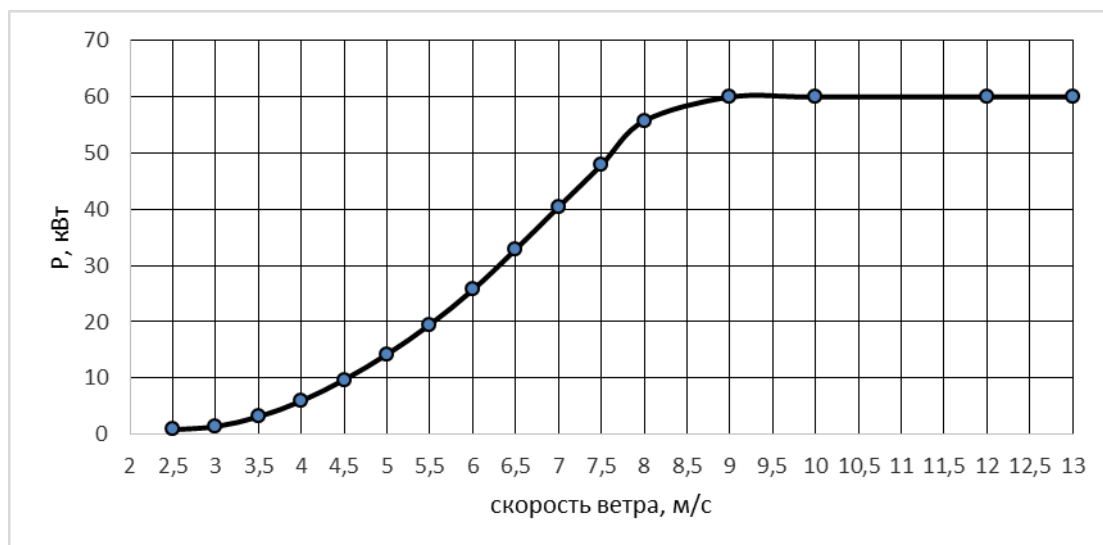


Рисунок 6 – Кривая мощности ветроустановки Condor Air 380

Для выбора необходимой установленной мощности ВЭС было проанализировано соотношение между почасовым потреблением мощности и почасовой выработкой электроэнергии одной ВЭУ за период с 01.01.2018 по 31.12.2018. Анализ выборки из 250 почасовых измерений для каждого месяца позволил установить, что работа ВЭС в течение года переменчива – от выдачи ВЭУ номинальной мощности до полного простоя ВЭУ. Таким образом, из-за особенностей ветрового режима, помимо ВЭУ, необходимо наличие накопителей электроэнергии для получения максимальной эффективности от работы ВЭС.

В качестве устанавливаемых накопителей были выбраны литий-ионные аккумуляторные батареи LT-LFP270 номинальной емкостью 270 А*ч отечественной компании «Лиотех» [13]. Данные аккумуляторы обладают наилучшими техническими

характеристиками среди представленных на российском рынке и являются оптимальными по соотношению цена-качество.

Для выбора оптимального количества ВЭУ и батарей был произведен технико-экономический анализ различных вариантов установок с целью оптимизации затрат на производство электроэнергии. Одной из основных задач анализа являлась минимизация работы дизельных электроустановок, использование которых в дальнейшем планируется лишь в качестве аварийного резерва мощности. Обобщенные результаты расчетов по компоновке оборудования, сроку окупаемости данных установок представлены в табл. 4. Расчет выполнен с написанием программы на базе Excel. Выбор наиболее перспективного к установке количества оборудования на данном этапе анализа обосновывается лишь сроком окупаемости без оценки надежности принятой ВЭС.

Таблица 4 – Результаты анализа предполагаемой выработки электроэнергии ветроэлектростанцией в пос. Индига по данным архива погоды за 2018 г.

№ п/п	Кол-во ВЭУ	Емкость батарей, кВт*ч	Сокращение работы ДЭС, %	Стоимость оборудования, млн. руб.	Срок окупаемости, лет
1	8	9090	100	366,475	6,255
2	9	9000	100	366,3	6,25
3	10	8900	100	365,7	6,24
4	11	8800	100	365,2	6,23
5	12	8700	100	364,65	6,22
6	13	8630	100	365,225	6,23
7	14	8565	100	365,98	6,25
8	15	8520	100	367,5	6,27

По результатам анализа погодных условий за период с 2011 по 2018 г. были построены законы распределения частот повторяемости скоростей ветров и подсчитана соответствующая выработка электроэнергии одной ветроустановкой Condor Air 380. Несмотря на вероятностный характер изменчивости скоростей ветров, отклонение среднего значения выработки от минимального (2012 г.) и максимального (2017 г.) составляет 9 % (табл. 5). Указанный размах вариации позволяет констатировать целесообразность применения расчета по выработке электроэнергии ВЭС с любым количеством ВЭУ на последующие годы.

Таблица 5 – Анализ предполагаемой выработки электроэнергии ВЭУ Condor Air 380

Год	Выработка электроэнергии, кВт*ч						
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль
2011	20043,52	14973,8	31044,54	17455,16	18715,87	14530,82	14176,71
2012	21290,55	26230,71	13632,16	19476,24	21027,52	13563,58	15184,47
2013	31901,88	34590,65	13321,56	21699,8	13609,05	16220,4	13013,94
2014	16525,34	22108,67	19984,48	22662,69	18717,9	20099,74	15452,83
2015	19497,67	28324,38	33066,82	16766,66	19912,39	19888,97	19723,28
2016	19930,34	28327,21	23102,07	15233,36	18943,41	18046,17	11641,55
2017	27427,29	16306,09	31911,04	25365,9	21829,63	15086,23	13697,49
2018	25154,76	18066,78	20713,33	19259,98	16232,54	14175,49	15643,66
Год	Выработка электроэнергии, кВт*ч						итог
	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь		
2011	13604,75	11411,08	23689,71	25438,33	31024,8534	236109,146	
2012	19203,24	15131,22	21488,74	23194,21	21515,604	230938,232	
2013	17796,73	22015,84	25230,7	25874,01	26450,3358	261724,898	

Год	Выработка электроэнергии, кВт*ч					
	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	итог
2014	19099,07	25236,86	21176,65	33987,67	21990,4524	257042,35
2015	16980,57	13774,88	26225	19826,68	23540,0772	257527,384
2016	17536,75	17282,91	24391,51	20164,54	18716,8164	233316,652
2017	19464,4	21428,46	20611,2	29981,5	30869,6958	273978,921
2018	18995,85	21718,55	26178,65	24950,2	34842,5208	255932,319

Таким образом, согласно результатам проведенных исследований, интенсивное развитие ветроэнергетики является общемировой тенденцией [14]. Потенциал для производства электроэнергии в северных регионах России огромен. По имеющимся данным и результатам расчетов пос. Индига Ненецкого автономного округа имеет благоприятные условия для развития ветроэнергетики, а с учетом тенденции к повышению стоимости органического топлива, использование возобновляемых источников энергии позволит обеспечить энергобезопасность данного района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубарев, В. В. Использование энергии ветра в районах Севера: Состояние, условия эффективности, перспективы / В. В. Зубарев, В. А. Минин, И. Р. Степанов. – Ленинград: Наука. Ленинградское отделение, 1989. – 208 с.
2. Балаков, Ю. Н. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стереотип. / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2006. – 288 с.
3. Голубчиков, С. Н. Перспективы развития ветроэнергетики для севера России / С. Н. Голубчиков, В. А. Зубиева, С. Э. Гребенщиков // Энергия: экономика, техника, экология. – 2014. – №1. – С. 48-56.
4. Башмаков, И. А. Анализ существующего уровня финансовой нагрузки на регионы с дорогостоящим децентрализованным энергоснабжением / И. А. Башмаков, М. Г. Дзедзичек // Низкоуглеродные решения для изолированных российских регионов с высокими ценами на энергоресурсы – 2016. – № 2 – С. 1–10.
5. Белей В. Ф. Справочник модуля: Возобновляемые источники энергии / В. Ф. Белей, В. В. Селин. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – 257 с.
6. Fraunhofer institute for Wind Energy Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iwes.fraunhofer.de/en.html>.
7. Статья [Электронный ресурс]: Global Wind Report, April 2018. Режим доступа: www.gwec.net – Загл. с экрана. – Яз. англ.
8. Индига – административный центр Тиманского сельсовета [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.info83.ru/o-nao/sela-zapolyarnogo-rajona/33040-indiga>
9. Проект (внесение изменений) генерального плана муниципального образования «Тиманский сельсовет» Ненецкого автономного округа. Пояснительная записка: GEONICA. Омск, 2017. – 63 с.
10. Архив погоды в Индиге [Электронные ресурсы]. Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Индиге.
11. Wind-turbine-models.com [Электронные ресурсы]. Режим доступа: <https://en.wind-turbine-models.com/>.
12. Ветрогенератор Condor Air 380-30 кВт [Электронные ресурсы]. Режим доступа: <http://climag.ru/vetrogenerator-eds-group-condor-air-380-30-kvt>.
13. Литий-ионные аккумуляторы [Электронные ресурсы]. Режим доступа: <http://www.liotech.ru/newsection7159>.

14. Timo Laakso, Ian Baring-Gould, Michael Durstewitz. State-of-the-art of wind energy in cold climates. – Finland, 2010 – 71 p.

DEVELOPMENT OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF THE VILLAGE OF THE EXTREME NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

D. K. Kugucheva, student,
Kaliningrad State Technical University
e-mail: kuguchevad@yandex.ru

The problems of power supply to the decentralized regions of the Far North are considered on the example of the Indiga settlement of the Nenets Autonomous District. The choice of wind turbines (wind turbines) to work in the selected region. For 8 years, a thorough analysis of the electricity, which was exposed to 2018, was conducted.

Renewable energy sources, Far North, wind power plant, wind power station, decentralized power supply