© Е.В. Насырова, Н.Ф. Тимербаев,О.В. Леухина, И.Ю. Мазаров

(cc) BY

УДК 620.9 **DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-6-39-50**

АНАЛИЗ ДАННЫХ ВЕТРОМОНИТОРИНГА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Е.В. Насырова, Н.Ф. Тимербаев,О.В. Леухина, И.Ю. Мазаров

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
ve.kgeu@gmail.com

***Резюме*:** *В работе представлены результаты ветромониторинга, проводимого с целью подтверждения целесообразности строительства ветроэлектростанции на территории Республики Татарстан. Задачей ветромониторинга является определение и исследование динамики среднегодового ветрового режима и расчета ветроэнергетического потенциала на перспективных площадках для размещения ветроэлектростанции. На приведенных площадках после проведения годового цикла измерений метеорологических параметров будут определены среднегодовые скорости ветра, мощность ветрового потока, преимущественные направления, плотность ветра, вертикальный профиль ветрового потока и иные данные необходимые для детального расчета ветроэнергетического потенциала площадок и выбора конкретных моделей ветрогенераторов и их расстановок для эксплуатации на этих площадках. Важным компонентом выполняемой работы является отработка методик расчета ветропотенциала на высотах, отличных от высот прямых измерений.*

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, ветровые установки, ветромониторинг, альтернативная энергетика, скорость ветра, направление ветра*.

Для цитирования: Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В., Мазаров И.Ю. Анализ данных ветромониторинга в Республике Татарстан // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. № 6. С. 39-50. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-6-39-50.

DATA ANALYSIS WIND MONITORING IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

EV Nasyrova, NF Timerbayev,OV Leukhina, IYu Mazarov

Kazan state Energy University, Kazan, Russia
ve.kgeu@gmail.com

Abstact: *The paper presents the results of wind monitoring carried out in order to confirm the feasibility of building a wind farm in the Republic of Tatarstan. The task of wind monitoring is to determine and study the dynamics of the average annual wind regime and calculate the wind energy potential at promising sites for placing a wind power plant. On the given sites, after the annual cycle of meteorological parameters measurements, the average annual wind speeds, wind power, preferred directions, wind density, vertical profile of the wind flow and other data necessary for a detailed calculation of the wind power potential of the sites and the selection of specific models of wind generators and their arrangements for operation will be determined at these sites. An important component of the work performed is the development of methods for calculating wind potential at heights other than the heights of direct measurements.*

Keywords: *renewable energy sources, wind installations, wind monitoring, alternative energy, wind speed, wind direction*.

For citation: Nasyrova EV, Timerbayev NF, Leukhina OV, Mazarov IYu. Data analysis wind monitoring in the Republic of Tatarstan. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2019;21(6):39-50. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-6-39-50.

Введение

Возобновляемые источники – это природные ресурсы, способные к быстрому восстановлению естественным путём, также это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. К источникам такого рода относятся ветер, солнце, движущиеся водные массы, геотермальные воды и др.

Ветер – самый проверенный и надежный источник возобновляемой энергии. Сейчас, в силу развития технологий, ветрогенераторы стали занимать крепкую позицию в своей нише.

В 2014 году количество электрической энергии, выработанной ветрогенераторами во всем мире, составило 706Твт*ч (3% всей произведенной человечеством электрической энергии) [1]. Некоторые страны, особенно интенсивно развивающие ветроэнергетику, в частности, на 2015 год в Дании посредством ветрогенераторов вырабатывалось 42% всего электричества; 2014 год в Португалии – 27%; в Никарагуа – 21%; в Испании – 20%; Ирландии – 19%; в Германии – 18,8% [2]; в ЕСв целом – 7,5% [3]. В 2014 году 85 стран мира использовали ветроэнергетику на коммерческой основе. По итогам 2015 года в ветроэнергетике занято более 1000000 человек во всем мире [4].(в том числе 500000 в Китае и 138000 в Германии) [5]. К началу 2016 года общая установленная мощность всех ветрогенераторов составила 432 ГВт [6] и, таким образом, превзошла суммарную установленную мощность атомной энергетики. Однако на практике использованная в среднем за год мощность ветрогенераторов в несколько раз ниже установленной мощности, в то время как АЭС почти всегда работает в режиме установленной мощности.

Крупные ветряные электростанции включаются в общую сеть, более мелкие используются для снабжения электричеством удалённых и энергоизолированных районов. В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и наиболее экологична. Однако сооружения ветряных электростанций сопряжено с некоторыми трудностями технического и экономического характера, замедляющими распространение ветроэнергетики. В частности, непостоянство ветровых потоков не создаёт проблем при небольшой пропорции ветроэнергетики в общем производстве электроэнергии, однако при росте этой пропорции, возрастают также и проблемы надёжности производства электроэнергии [7-9].

Таким образом, на сегодняшний день обеспеченность потребителейэ лектроэнергией в России далеко не стопроцентная, хотя страна является энергоизбыточной и способна поставлять ресурс на экспорт. Запасы традиционных источников энергии, таких как нефть, газ и уголь, неумолимо уменьшаются и их стоимость достаточно высока, а их использование приводит к образованию парникового эффекта на планете. Постоянное повышение требований к выработке электричества заставляет искать новые средства генерации энергии [10]. Поэтому все большее количество стран в своей энергетической политике обращают свои взоры в сторону альтернативных источников энергии, разрабатывают на практике и внедряют новые технологии. Особое место в этом направлении занимает ветроэнергетика. В России эта сфера пока еще недостаточно развита для обеспечения существенной доли энергопотребления, но промышленный потенциал при должном уровне технологической поддержки может в корне исправить эту ситуацию [11].

Материалы и методы

Для выбора оптимальной площадки расположения ВЭС учитываются следующие факторы:

1.Абсолютная высота над уровнем моря или земли. Как известно, зона до 2 км турбулентна, воздушные потоки, преобладающие выше данной высоты, сильно затормаживают нижние. Но эффект заметно снижается уже на высоте 100 метров. Плюс, расположение ветряка выше 100 метров позволит увеличить длину лопасти и освободить пространство под устройством для деятельности людей и других коммуникаций.

2.Расположение. Оптимальный вариант – побережье или море (океан). Определить место установки ВЭУ так, чтобы со стороны набегающего ветрового потока (направления преимущественного ветра) на ВЭУ отсутствовали препятствия в виде строений, деревьев на расстоянии не менее двойной высоты указанных препятствий. В случае если наличие препятствий избежать невозможно, высоту башни ВЭУ необходимо выбрать такую, чтобы нижние кромки лопастей ротора были на 3–5 м выше этих препятствий.

3.Скорость ветра. Характеристика высчитывается по среднему показателю по региону. Ветроустановка начинает работать при скорости ветра 3 м/с, а при скорости свыше 25 м/с идет аварийное ее отключение, дабы не повредить устройство. Оптимальная скорость – 15 м/с. Также

нужно определить розу ветров в данной местности, направление преимущественного ветра и по силе и по времени.

4. Количество лопастей. В процессе исследований было определено, что три лопасти – самый эффективный вариант.

5. Ось вращения. В случае установки нескольких ВЭУ на ограниченной территории расстояние между осями ВЭУ рекомендуется не менее 10 диаметров их роторов, если они установлены не по фронту к преимущественному ветру; и на расстоянии двух диаметров, если ВЭУ установлены по фронту к ветровому потоку.

Ветроустановка является источником повышенной опасности как электроприбор, а также как высокоскоростной объект, от которого при вращении в случае поломки может отделиться деталь конструкции [12]. В соответствии с требованиями электробезопасности необходимо наличие на ВЭУ молниеотвода и заземления в соответствии с ГОСТ «Электроустановки зданий», часть 4 «Требования по обеспечению безопасности», гл.44 Защита от перенапряжений, раздел 443 «Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений». Между сегментами мачты должны устанавливаться перемычки для свободного прохождения разряда в случае удара молнией [13-14].

В случае размещения ВЭУ на поверхности земли необходимо предусмотреть зону отчуждения в соответствии с ГОСТами и другими требованиями [15]. В случае размещения ВЭУ на здании или сооружении необходимо предусмотреть дополнительную защиту (экраны) для предотвращения разлетания лопастей в случае поломки ротора ветроустановки [16-17].

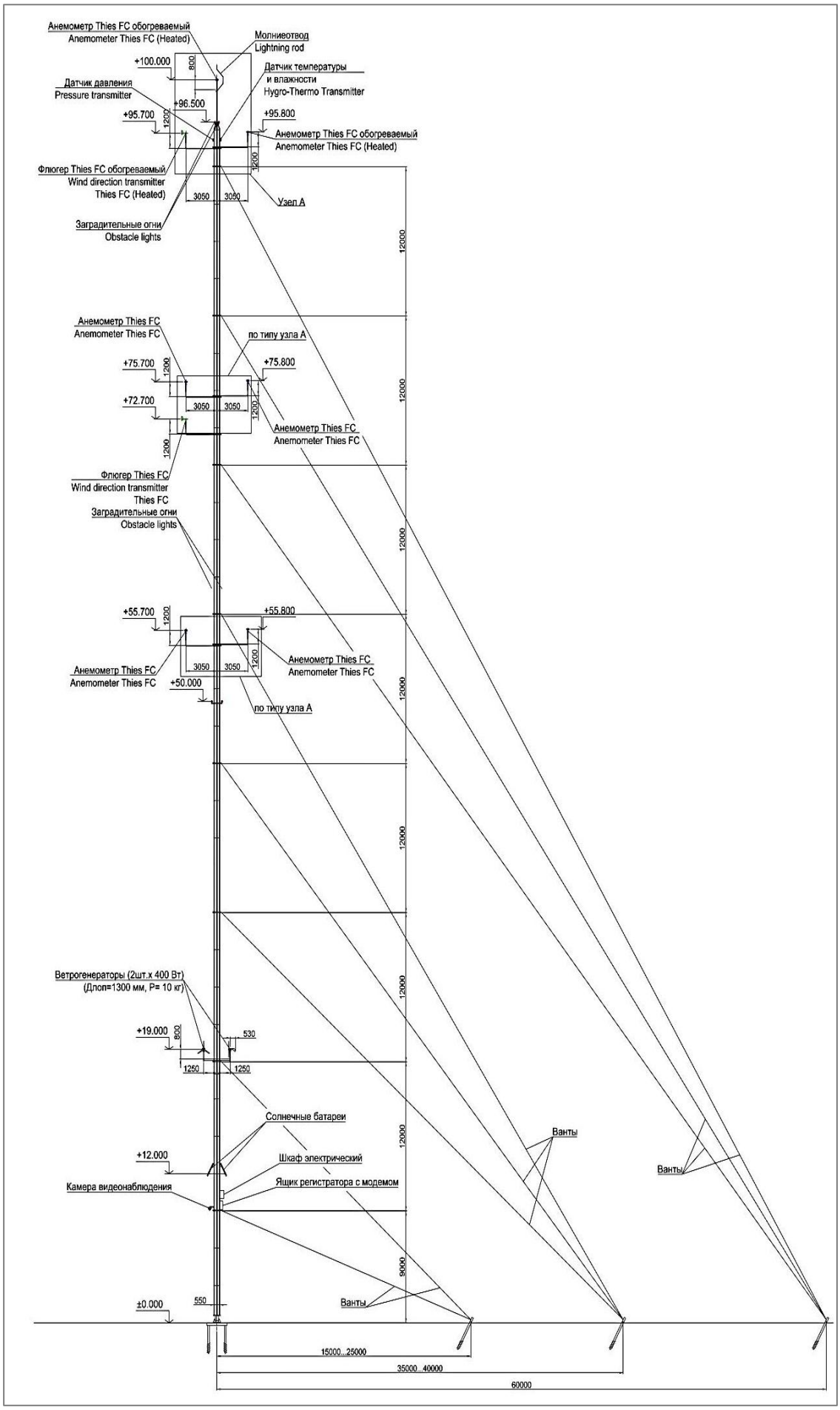
В Татарстане заинтересованы в частичном замещении традиционной энергетики на альтернативную. Для этих целей на территории республики уже проводятся ветроизмерительные исследования силами Казанского государственного энергетического университета [18].

При выборе района монтажа ветроэнергетической установки (ВЭУ) необходимо иметь в виду то, что ротор ВЭУ начинает вращаться при скорости ветра не менее 4 м/сек., номинальную мощность ВЭУ выдает при скорости ветра 10,4 м/сек., а для эффективной работы ВЭУ желательно, чтобы среднегодовая скорость ветра была не менее 6 – 7 м/сек. Поэтому были проработаны конкретные территории в республике в трех районах, в каждом из которых отобраны 6–8 площадок, где можно разместить ветропарк. Выбор осуществлялся по следующим критериям: инфраструктура, скорость и направление ветра, различные препятствующие ограничения.

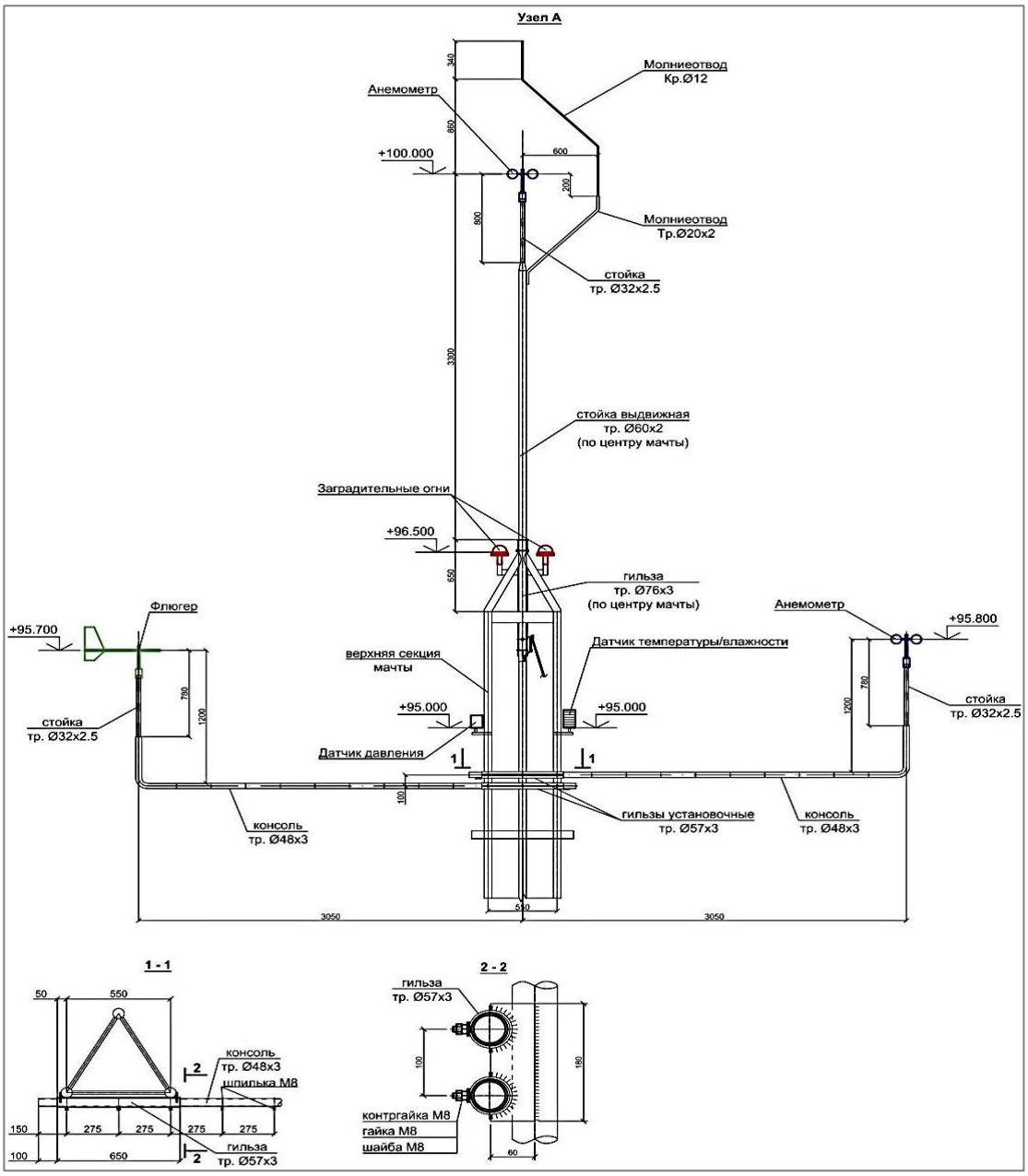
Измерение скорости ветра – ключевой элемент ветромонторинга. Для измерения этого параметра используются анемометры, расположенные на разных высотах. Как правило, ветроизмерения проводят на высоте 80 м, но сотрудники кафедры «Возобновляемые источник энергии» (ВИЭ)предложили проводить измерения на высоте 50 м, 75 м, 95 м и 100 м.

Система ветромониторинга была установлена на мачтах *HiMast* класса 1 высотой 100 м (поставляемой ООО АГИС-Инжиниринг) в Камско-Устьинском (с. Красновидово), в Спасском (с. Измери) и в Рыбно-Слободском (с. Малая Елга) районах Республики Татарстан. Одна мачта стоит на ровной площадке, две другие мачты стоят на площадке, имеющей не совсем ровную поверхность. Со всех мачт проводились сравнения результатов ветромониторинга.

На рис. 1*а* и рис.1*б* приведен технический чертеж мачты К–1, на которой установлены анемометры обогреваемые, флюгер, датчики давления, температуры и влажности. Технические характеристики измерительного оборудования представлены в табл. 1.


Анемометр Thies FC обогреваемый
Anemometer Thies FC (Heated)
Молниеотвод
Lightning rod
+100.000
800
Датчик давления
Pressure transmitter
Датчик температуры
и влажности
Hygro-Thermo Transmitter
+96.500
+95.700
1200
+95.800
Анемометр Thies FC обогреваемый
Anemometer Thies FC (Heated)
Флюгер Thies FC обогреваемый
Wind direction transmitter
Thies FC (Heated)
3050
3050
Узел А
Заградительные огни
Obstacle lights
12000
Анемометр Thies FC
Anemometer Thies FC
по типу узла А
+75.700
+75.800
+72.700
Анемометр Thies FC
Anemometer Thies FC
Флюгер Thies FC
Wind direction transmitter
Thies FC
Заградительные огни
Obstacle lights
+55.700
+55.800
Анемометр Thies FC
Anemometer Thies FC
Анемометр Thies FC
Anemometer Thies FC
+50.000
по типу узла А
Ветрогенераторы (2шт.х 400 Вт)
(Длоп=1300 мм, Р= 10 кг)
+19.000
530
1250
1250
Солнечные батареи
Ванты
+12.000
Шкаф электрический
Ванты
Камера видеонаблюдения
Ящик регистратора с модемом
9000
±0.000
550
Ванты
15000...25000
35000...40000
60000

а)



б)

Рис.1. Мачта К–1 – технический чертеж мачты, поставляемой *AGIS*

Таблица 1

Наименование	Характеристики
Анемометр *Thies First Class Advanced* (обогреваемый)	- соответствие *IEC* 61400-12-1 (2005-12*) MEASNET*, *CLASSCUP*, *ISO* 17713-1; - класс точности S 0.5 / A 0.9 / B 3.0; - диапазон измерения 0,3 - 75 м/с; - разрешение 0,05 м/с; - условия окружающей среды: от -50°С до +80° С; - степень защиты *IP* 55 (*DIN* 40050); - (электромагнитная совместимость) в соответствии с *EMC EN* 61000-6-2: 2005; - электропитание для обогрева с напряжением 24В *AC/DC* (гальваническая развязка от корпуса); - полная потребляемая мощность (работа датчика + обогрев) 30 Вт; - калиброванный в соответствии с требованиями *MEASNET*.

Продолжение таблицы 1

Анемометр *Thies First Class Advanced* (необогреваемый)	- соответствие *IEC* 61400-12-1 (2005-12), *MEASNET*, *CLASSCUP*, *ISO* 17713-1; - класс точности S 0.5 / A 0.9 / B 3.0; - диапазон измерения 0,3 - 75 м/с; - разрешение 0,05 м/с; - условия окружающей среды: от -50°С до +80° С; - степень защиты *IP* 55 (*DIN* 40050); - (электромагнитная совместимость) в соответствии с *EMC EN* 61000-6-2: 2005; - потребляемая мощность 5 Вт; - калиброванный в соответствии с требованиями *MEASNET*.
Флюгер *TMR Thies First Class*	- полностью обогреваемый; - принцип измерения: цифровой *TMR*; - диапазон измерения 0 - 360°; - точность измерения ± 0,5°; - разрешение 0,35°; - выходной сигнал 10 бит (последовательный, синхронный); - рабочее напряжения обогрева 24 В постоянного / переменного тока; - условия окружающей среды -50 до + 80 °С; - степень защиты *IP* 55 (*DIN* 40050); - электромагнитная совместимость в соответствии *EMC EN* 61000-6-2: 2001 *EN* 55022: 2001; - полная потребляемая мощность (работа датчика + обогрев) 30 Вт; - калиброванный в соответствии с требованиями *MEASNET*.
Датчик температуры + датчик температуры/влажности *Galltec Messund Regeltechnik GmbH*	- наличие защитного корпуса; - диапазон измерений от 0 до 100% и от - 30°С до +70°С; - погрешность измерений ±2,0 %; - рабочее напряжение 9 - 30 В (1 мА/2 мА); - минимальная скорость воздуха (по датчику) 0,5 м/с; - температура окружающей среды от – 40°С до + 80°С; - степень защиты сенсора *IP* 30; - степень защиты электроники *IP* 65.
Датчик давления *Ammonit*	- диапазон измерения давления от 80 до 110 кПа; - погрешность измерений 0,5%; - диапазон рабочих температур от – 40°С до + 85°С; - диапазон влажности от 0 до 98% *RH*; - выходное напряжения 0 – 5В; - напряжение питания 9 – 32В; - корпус из нержавеющей стали; - класс защиты *IP* 64 (при подключенном разъеме).
Регистратор данных *AmmonitMeteo-40S*	- обеспечивает съем данных с метеорологических приборов с минимальным интервалом в 1 сек. и сохранение осредненных за 10-минутный интервал значений метеорологических измерений; - обеспечивается резервным источником питания (бензиновый генератор) с выходной мощностью 1500Вт - обеспечивающий регистрацию данных в течение 2 недель; -минимальный объем памяти регистратора данных составляет 2 года со всех измеренных метеорологических значений; -регистратор оснащается запоминающим устройством с *USB*-разъемами объемом памяти 16 Гб; - входные каналы: счетчик импульсов 12 шт.; - цифровой последовательный порт (статус) 2 шт.; - передача данных *USB* (ПК, модем, *USB* 2.0 - накопители, *WI-FI*) и через сеть *Ethernet* (модем); - объем данных 2 Гб; - ЖК-дисплей с подсветкой; - данные *CSV* 50 Мб; - источник питания 9 - 36 В постоянного тока; - защита корпуса *IP*65; - калиброванный в соответствии с требованиями *MEASNET*.

Продолжение таблицы 1

Система передачи данных *GSM/GPRS* (стальной шкаф с модемом, АКБ, контроллером заряда, защитой датчиков от перенапряжения): Модем *UMTS / GPS PHS8-P* Стальной шкаф *Ammonit*	- максимальное количество пользователей, получающих сообщение о событиях системы –7; - диапазоны частот 850/900/1800/1900 МГц; - использование: *GSM/GPRS*-интернет сеть; - автоматическая рассылка ежедневных измеренных данных; - интерфейс модули мини *USB* 2.0 – устройства; - диапазон рабочей температуры от -30°С до + 75°С; - напряжение питания 4,75 - 32 В; - ток питания 600 мА при 4,75 В; - кабель питания с предохранителем *DC-IN*/красный, земля /черный, -T2A (T = временная задержка); - *SMA* интерфейс антенны.

Результаты

На рис. 2 представлена Роза ветров – векторная диаграмма, характеризующая в метеорологии режим ветра в данном месте по многолетним наблюдениям и выглядит как многоугольник, у которого длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях, пропорциональны повторяемости ветров этих направлений («откуда» дует ветер). Как видно из рис. 2*б*, в январе ветер преимущественно преобладал южного, юго-западного и западного направлений, в то время как в июле 2018 г. (рис. 2*г*) направление ветра наблюдалось во все стороны.

Проанализировав розу ветров за весь период ветромониторинга (с июля 2018 г. по январь 2019 г.) получаем результат: максимальная скорость ветра (больше 9 м/с) преимущественно западного направления.

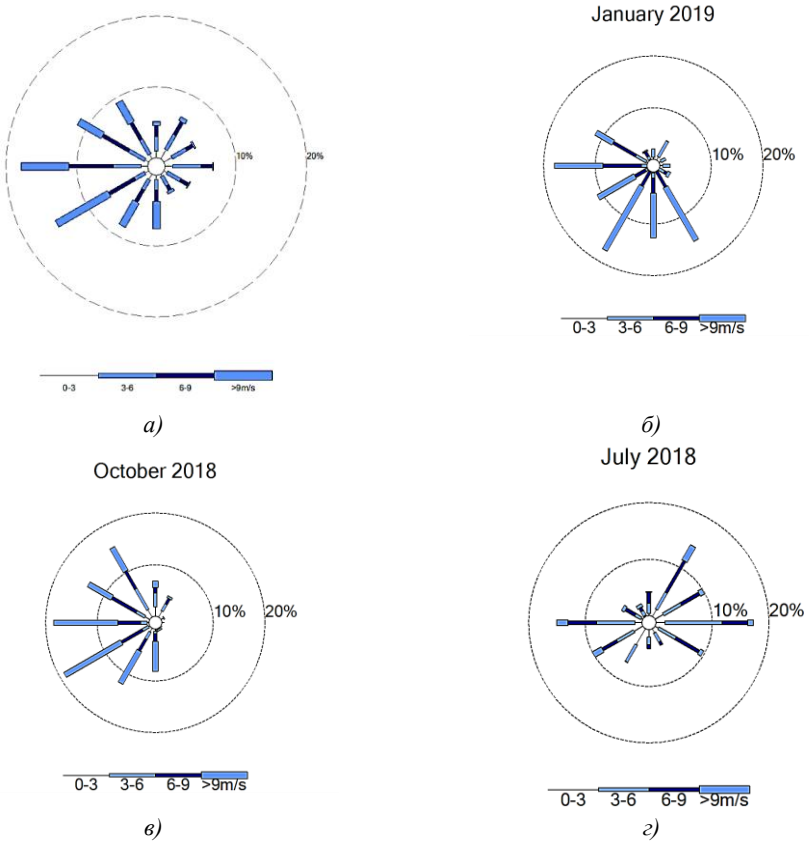


Рис. 2. Роза ветров: *а)* за весь период мониторинга (июль 2018 г. – январь 2019 г.); *б)* за январь 2019 г; *в)* за октябрь 2018 г.; *г)* за июль 2018 г

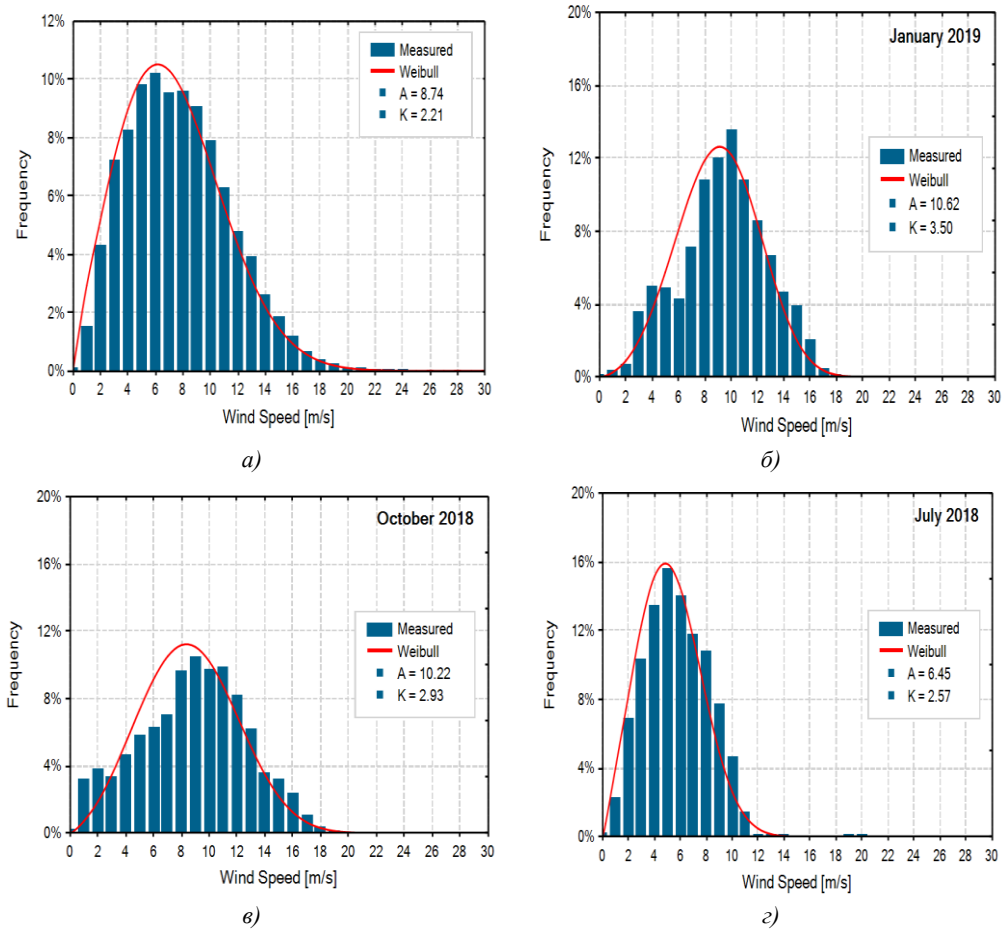


Рис. 3. Частота повторений: *а)* за весь период мониторинга (июль 2018 г. – январь 2019 г.); *б)* за январь 2019 г.; *в)* за октябрь 2018 г.; *г)* за июль 2018 г

На рис. 3 представлена частота повторений скорости ветра за весь период мониторинга (рис. 3*а*) и по месяцам (3 *б, в, г*). Как видно из рисунка в январе 2019 г. (рис. 3*б*) преобладал ветер со скоростью 8 м/с и 10 м/с, скорости ветра до 6 м/с практически не было, в то время как ветер со скоростью более 14 м/с преобладал всего 4% времени. Для сравнения в июле 2018 г. (рис. 3*г*) частота повторений ветра скоростью до 6 м/с составляет около 6 % и максимальная скорость ветра – всего 9 м/с. В июле максимальная скорость ветра была 5 м/с и преобладал 16% времени.

Анализ данных показывает, что максимальная скорость ветра за данный период ветромониторинга составляет 6 м/с и преобладает почти12 % времени; скорость ветра более 15 м/с не превышает 2% всего времени.

На рис. 4 наблюдается суточный ход изменения ветра на разной высоте. Например, в январе (рис. 4*б*) в 11 часов дня скорость ветра на высоте 52 м – 8 м/с, а на высоте 94 м – чуть больше 10 м/с. В летнее время (рис. 4*г*) скорость ветра во второй половине дня не превышает 6,5 м/с, в то время как в утренние часы (6–7 часов) наблюдается очень слабый ветер.

Анализируя графики можно заметить, что скорость ветра в вечернее время усиливается, что коррелируется с потреблением ЭЭ сетями.

Вертикальный профиль ветра – зависимость скорости ветра по высоте в приземном слое, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной высоте относительно земной поверхности приведен на рис. 5.

Как видно из рисунка, разница скорости ветра на высоте 50 м и 98 м составляет чуть больше метра. Соответственно, чем выше будет высота ВЭУ, тем больше будет производительность электроэнергии.

На производительность ВЭУ оказывает большое влияние направление ветра и его скорость. Так как в вечернее время чаще всего ветер усиливается, то соответственно и выработка электроэнергии в вечернее время будет выше. Если ветер меняет направление

резко, то лопасти ветрогенератора не успевают повернуться, что соответственно временно выводит данный ветрогенератор из работы.

Вертикальный профиль ветра – зависимость скорости ветра по высоте в приземном слое, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной высоте относительно земной поверхности приведен на рис. 5.

Как видно из рисунка, разница скорости ветра на высоте 50 м и 98 м составляет чуть больше метра. Соответственно, чем выше будет высота ВЭУ, тем больше будет производительность электроэнергии.

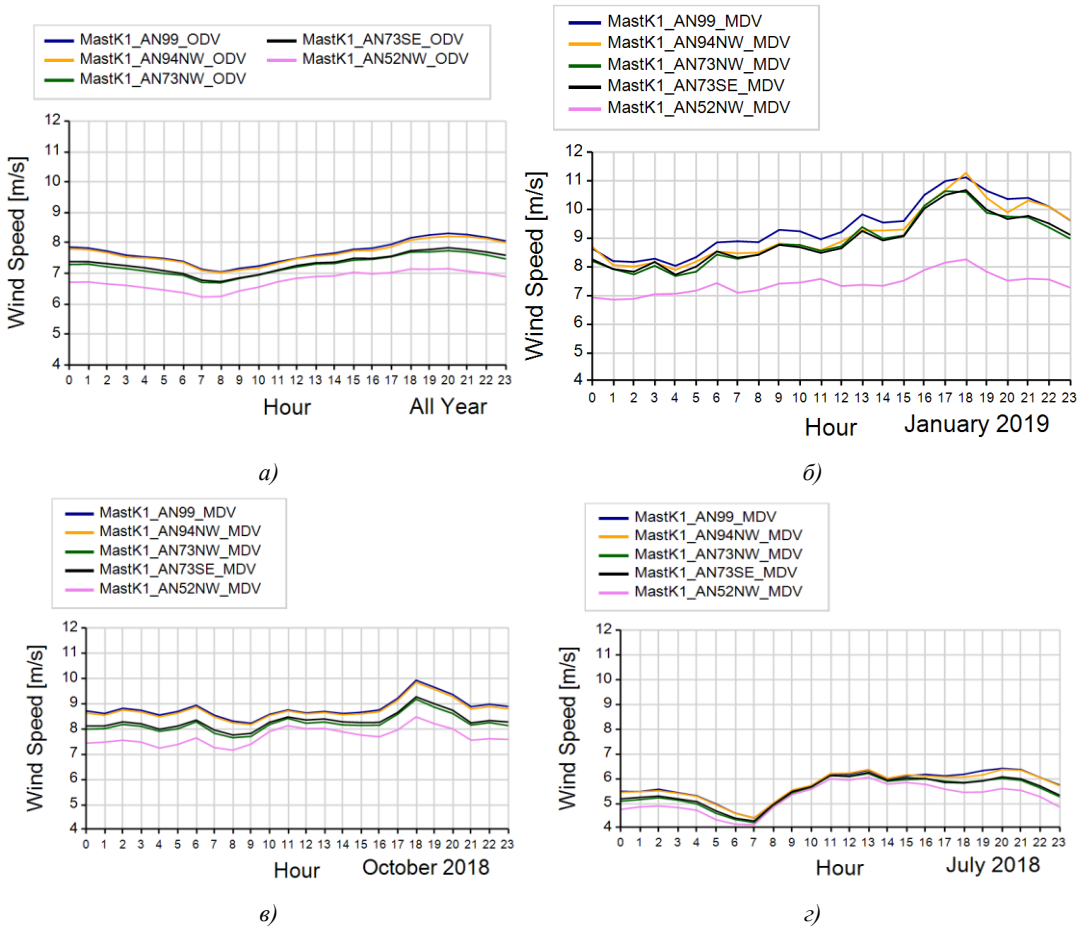


Рис. 4. Суточный ход: *а)* за весь период мониторинга (июль 2018 г. – январь 2019 г.); *б)* за январь 2019 г; *в)* за октябрь 2018 г.; *г)* за июль 2018 г

На производительность ВЭУ оказывает большое влияние направление ветра и его скорость. Так как в вечернее время чаще всего ветер усиливается, то соответственно и выработка электроэнергии в вечернее время будет выше. Если ветер меняет направление резко, то лопасти ветрогенератора не успевают повернуться, что соответственно временно выводит данный ветрогенератор из работы.

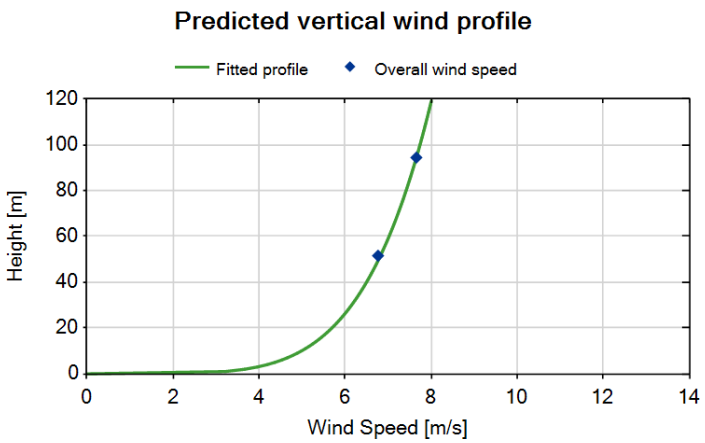


Рис. 5. Прогнозируемый вертикальный профиль ветра

По результатам ветромониторинга проведен расчет мощности P на выходных клеммах асинхронного электрогенератора ветряной установки:

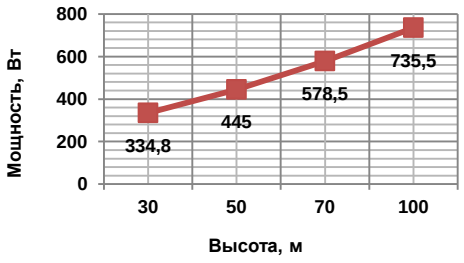
$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot F \cdot w^3 \cdot К_И \cdot К_Г \cdot К_М, Вт \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, равная 1,23 кг/м^3; F – площадь ометания ветроколеса, м^2; w – скорость ветра, м/с; $К_и$ – коэффициент использования энергии ветра, равный 0,35…0,45; $К_г$ – коэффициент полезного действия электрогенератора, равный 0,9; $К_м$ – коэффициент полезного действия мультипликатора, равный 0,8.

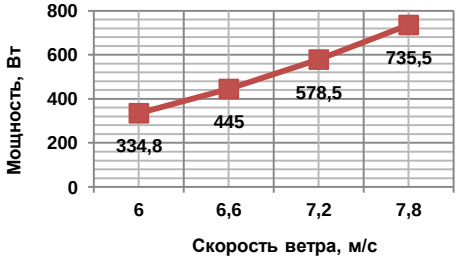
$$P = 0,5 \cdot 1,23 \cdot w^3$$

$$P = 0,5 \cdot 1,23 \cdot w^3 \cdot 0,35 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1.55 w^3$$

$$P_{(30)} = 334,8Вт; P_{(50)} = 444,5Вт; P_{(70)} = 578,5Вт; P_{(100)} = 735,5Вт;$$



а)



б)

Рис. 6. Графики зависимости мощности от: *а)* высоты; *б)* скорости ветра

Выводы

На основании расчета построены графики (рис. 6 *а, б*) зависимости выработки электроэнергии от высоты и от скорости ветра. Анализ данных графиков показывает, что изменение скорости ветра на 20 % приводит к увеличению выработки электрической мощности почти в два раза, а увеличение высоты с 30 м до 100 м также приводит к увеличению выработки в два раза. Следовательно, увеличение высоты ветроагрегатов позволяет значительно эффективнее использовать ветропотенциал местности и производить значительно большее количество электроэнергии в одной и той же локальной точке.

На основании измерений, полученных в период с июля 2018 г. по январь 2019 г., было установлено, что самой мощной по энергопотенциалу является площадка в Спасском районе РТ вблизи с. Измери, где можно разместить ветропарк большей мощности – до 150 МВт. Чуть меньшей мощности ветропарк можно разместить в Рыбно-Слободском районе (с. Малая Елга), и еще меньшей – Камско-Устьинском районе (с. Красновидово).

Литература

1.Шуйский В.П., Алабян С. С., Комиссаров А.В., и др. Мировые рынки возобновляемых источников энергии и национальные интересы России // Проблемы прогнозирования. 2010. № 3. С. 131-143.

2.Global Wind Energy Council. 2017. Available at: http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-windreport-2016/. Accessed to: 21Apr 2019.

3.REN21: Renewables Global Status Report 2015. Available at: http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/. Accessed to :11 March 2019.

4.O'Sullivan J. Two utilities opt out of cape wind., January 2015. Available at: www.bostonglobe.com/metro/2015/01/06/major-setback-for-cape-wind. Accessed to: 06 Apr. 2019.

5.Сидорович. В. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М.:Альпина Паблишер. 2015. 208с.

6.Кузнецова Е.В., Пуганова П.А. Экономическая целесообразность использования ветровой энергии // Наука, образование, инновации. 2016. С. 14-16.

7.Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications.2004. Available at:https: // docs.wind-watch.org/EirGrid-WindImpact-Main.pdf.: Accessed to :18 May 2019.

8.Wind Energy Projects in Cold Climate (Edition 2011). Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Programme for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems. 2012. Available at : http://ieawind.org/index_page_postings/June%207%20posts/task%2019%20cold climate% 20rp approved05.12.pdf. Accessed to: 12 Apr 2019.

9.Verma A.R., Kamani P.L., Kapadia R.R. A review on grid power quality improvement in wind energy system using STATCOM with BESS. Journal Emerg. Technol. Innov. Res. 2 (1) (2015).

10.IRENA. Renewable Capacity Statistics. 2016. Available at : https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA RE Capacity Statistics 016.pdf. Accessed to: 17 Apr 2019.

11.Валикжанин И.Н. Развитие ветроэнергетики в России. СПБ.: Питер. 2018. 187 с.

12.Дайчман Р.А. Использование ветроэнергетических установок в Российской Федерации. АПРОБАЦИЯ. Общество с ограниченной ответственностью «Апробация». Махачкала. 2015. №11. С. 13-15.

13.Возобновляемые источники энергии в России. Итоги 2015года. Информационно-справочные материалы // Ассоциация «НП Совет Рынка». Доступно по:URL http://wwwnp-sp/ presscenter/pressinf/index.html. Ссылка активна на: 11 апреля 2019.

14.Денисов Р.С., Елистратов В.В., Гзенгер Ш. Ветроэнергетика в России: возможности, барьеры, и перспективы развития // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. Т. 23. № 2.С. 17-27.

15.Перминов Э. М., Рустамов Н. А. О перспективах возобновляемой энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 11. С. 19-28.

16.Никитин А.Д. Моделирование переходных процессов при работе автономной ветроустановки с резервным источником энергии. Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2016. Т. 16. № 1. С. 36-41.

17.Петров А.Е., Мамий С.А. Экономический потенциал возобновляемых источников энергии // Научный журнал КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU. 2017. № 127. С. 164-175.

18.Леухина О.В., Насырова Е.В., Филиппова Ф.М., Аверьянова Ю.А. Перспективы развития ветроэнергетики на территории Республики Татарстан. Энергетика и Энергосбережение: Теория и практика. Сборник материалов 4 Всероссийской научно-практической конференции. Издательство: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2018. 151.1-151.3 с.

Авторы публикации

Насырова Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры «Возобновляемые источники энергии», Казанский государственный энергетический университет.

Тимербаев Наиль Фарилович – д–р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Возобновляемые источник энергии», Казанский государственный энергетический университет.

Леухина Ольга Владимировна – старший преподаватель кафедры «Возобновляемые источники энергии», Казанский государственный энергетический университет.

Мазаров Иван Юрьевич – инженер кафедры «Возобновляемые источники энергии», Казанский государственный энергетический университет.

References

1.Shuisky VP, Alabyan SS, Komissarov AV, et al. World markets of renewable energy sources and national interests of Russia. *Problems of forecasting*. 2010;3:131-143.

2.*Global Wind Energy Council.* 2017. Available at: http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-windreport-2016/. Accessed to:21 Apr 2019.

3.REN21: *Renewables Global Status Report* 2015. Available at: http://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_01/chapter_01/. Accessed to: 11 March 2019.

4.O'Sullivan J. *Two utilities opt out of cape wind*. January 2015. Available at: www.bostonglobe.com/metro/2015/01/06/major-setback-for-cape-wind. Accessed to: 04 Jul 2019.

5.Vladimir Sidorovich. *World Energy Revolution: How renewable energy will change our world*. M: Alpina Publisher. 2015. P.208.

6.Kuznetsova EV, Puganova PA. Economic feasibility of using wind energy. *Science, education, innovation.* 2016. pp. 14-16.

7.*Impact of Wind Power Generation in Ireland on the Operation of Conventional Plant and the Economic Implications.* 2004. Available at: https://docs.wind-watch.org/EirGrid-WindImpact-Main.pdf. Accessed to: 18 May 2019.

8.Wind Energy Projects in Cold Climate (Edition 2011). *Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Program for Research, Development and Deployment on Wind Energy Conversion Systems*. 2012. Available at: http://ieawind.org/index page postings/June%207%20posts /task%2019%20cold_climate %20 rp_approved 05.12.pdf. Accessed to: 12 Apr 2019.

9.Verma AR, Kamani PL, Kapadia RR. A review on grid power quality improvement in wind energy system using STATCOM with BESS. *Journal Emergency Technologies Innovation*. Res. 2 (1) (2015).

10.*IRENA. Renewable Capacity Statistics.* 2016. Available at : https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA RE Capacity Statistics 2016.pdf. Accessed to: 17 Apr 2019.

11.Valikzhanin IN. *Development of wind energy in Russia*. SPB : Peter. 2018. P. 187.

12.Daychman RA. Use of wind power plants in the Russian Federation. *APPROBATION. Limited company "Approbation"*. Makhachkala. 2015;1:13-15.

13.*Renewable energy sources in Russia. Results of 2015. Reference materials // Association "NP Market Council".* Available at: URL http: // wwwnp-sp / presscenter / pressinf / index.html. Accessed to: 11 Apr 2019.

14.Denisov RS, Elistratov VV, Sh. Gzenger. Wind energy in Russia: opportunities, barriers, and development prospects. *Scientific and Technical Journal of St. Petersburg Polytechnic University. Natural and engineering sciences.* 2017;23(2):17-27. doi: 10.18721 / JEST.230202.

15.Perminov EM, Rustamov NA. On the prospects of renewable energy. *Energy: economics, technology, ecology.* 2016;11:19-28.

16.Nikitin AD. Simulation of transients during the operation of an autonomous wind turbine with a backup energy source. *Bulletin of SUSU. Series "Energy"*. 2016;16(1):36–41. doi: 10.14529 / power160106.

17.Petrov AE, Mamy SA. The economic potential of renewable energy sources. *Scientific journal of KubSAU*. 2017;127:164-175.

18.Leukhina OV, Nasyrova EV, Filippova FM, et al. Prospects for the development of wind energy in the Republic of Tatarstan. Energy and Energy Saving: *Theory and Practice. Collection of materials of the 4 All-Russian scientific-practical conference*. Publishing House: Kuzbass State Technical University named after TF Gorbachev. 2018. pp. 151.1-151.3.

Authors of the publication

Elena V. Nasyrova – Kazan state Energy University, Kazan, Russia. Email: ve.kgeu@gmail.com.

Nail F. Timerbaev – Kazan state Energy University, Kazan, Russia. Email: ve.kgeu@gmail.com.

Olga V. Leukhina – Kazan state Energy University, Kazan, Russia. Email: ve.kgeu@gmail.com.

Ivan Y. Mazarov – Kazan state Energy University, Kazan, Russia. Email: ve.kgeu@gmail.com.

Поступила в редакцию ***21 июня 2019г.***