

УДК 620.97

**В.М. ИВАНОВ**  
**Т.Ю. ИВАНОВА**  
**И.А. БАХТИНА**  
**П.С. ТРУТНЕВ**

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАРУБЕЖНЫХ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК

*EVALUATION OF DEVELOPMENT POSSIBILITY OF WIND POWER IN THE ALTAI TERRITORY WITH USE  
 OF FOREIGN WIND-MILL ELECTRIC GENERATING UNITS*

*На основе анализа проблем и существующих методов разработана методика расчета производительности ветрогенератора в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей. На примере возможного проекта использования ветрогенератора Enron Wind 600a немецкой фирмы Tacke Windenergie GmbH на территории Алтайского края произведен расчет по разработанной методике.*

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, ветроэнергоустановка, методика расчета, экономическая эффективность.

Для Алтайского края, являющегося энергодефицитным, центральным направлением развития энергетики является энергосбережение, потенциал которого, как и для Сибири в целом, составляет порядка 30 %. Внедрение энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии, относится к понятию «энергосбережение» [1, 2]. Вопросам энергосбережения с использованием микро-ГЭС на Кольванском камнерезном заводе в Алтайском крае посвящена статья [3].

На основе анализа проблем и существующих методов [4-6] разработана методика расчета производительности ветроэнергоустановок (ВЭУ) в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей.

*On the basis of the analysis of problems and existing methods the method of calculation of productivity of the wind generator depending on the speed of a wind, diameter of a rotor, reducer efficiency (the transfer device), generator, density of air, aerodynamic characteristics of blades is developed. On the example of one of the possible projects of use of the Enron Wind 600a wind generator of the German firm Tacke Windenergie GmbH in the territory of the Altai territory calculation for the developed technique is made.*

**Key words:** wind power, wind-mill electric generating unit, calculation procedure, economic efficiency.

Мощность ВЭУ определяется по формуле

$$N = \frac{\pi D^2}{4} v^3 \frac{\rho}{2} \eta_{\text{ген}} \eta_{\text{ред}} \times 10^3 \times C_p \text{ кВт},$$

где  $D$  – диаметр ротора,  $D = 46$  м;

$\pi D^2/4$  – «ометаемая площадь» – площадь, захватываемая лопастями,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость ветра,  $\text{м/с}$ ;

$\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха (стандартная);

$\eta_{\text{ген}} = 0,961$  – коэффициент полезного действия генератора;

$\eta_{\text{ред}} = 0,98$  – коэффициент полезного действия редуктора;

$C_p$  – коэффициент использования ветра, зависящий от профиля лопастей и других режимных параметров.

Из приведенной формулы видно, что на мощность ВЭУ самое большое влияние оказывают диаметр ротора и скорость ветра.

Скорость ветра определяется местом, где сооружается ВЭУ. В расчете использовались данные гидрометеоцентра РФ, показывающие среднесуточное распределение ветра в процентах по скоростям в зависимости от месяца на территории г. Барнаула Алтайского края. Согласно среднесуточному распределению скорости ветра в процентах от общего количества времени, на долю ветра в диапазоне от 0 до 3 м/с на территории г. Барнаула приходится около 70 % всего времени, поэтому установка будет работать лишь 30 % всего времени. Скорость включения ВЭУ составляет 3 м/с и более, а скорость выключения – около 21 м/с.

Эффективность работы любого генерирующего источника характеризует такой параметр, как коэффициент использования установленной мощности – отношение средней выработки генерирующего устройства к максимально возможной. Идеальная выработка электроэнергии (максимально возможная) для нашей установки в год составляет  $600 \text{ кВт} \cdot 365 \cdot 24 \text{ ч} = 5256 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ . А реальная выработка – суммарная выработка за год составляет  $551 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ . Коэффициент использования установленной мощности при этом будет 0,1049. Это означает, что установка в год выработает лишь около 10 % электроэнергии от максимально возможной выработки.

В целом суммарная годовая среднесуточная выработка электроэнергии для каждого диапазона скорости ветра и по месяцам года представлена на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что наибольший вклад в выработку энергии дает скорость ветра в диапазоне от 10 до 13 м/с и наиболее эффективно ветрогенератор будет работать весной и осенью, когда преобладают ветры большей скорости, а наименее эффективно – летом. Соответственно наибольшую выработку ветрогенератор даст в марте и ноябре, а наименьшую – в июле и августе. То есть неравномерность производства энергии по месяцам – более чем в три раза.

На примере ВЭУ Enron Wind 600a немецкой фирмы Tacke Windenergie GmbH произведена оценка возможности ее использования на территории Алтайского края по разработанной методике [7]. Из графика мощности выработки электроэнергии ветрогенератором Enron Wind 600a в зависимости от скорости ветра (рис. 2) видно, что для наиболее эффективной работы ветрогенератора скорость ветра должна быть в пределах от 6 до 18 м/с.

На ветряной энергоустановке Enron Wind 600a с наклонно расположенным петлевым способом передачи движения ось ротора находится в передней главной части и располагается в редукторе.

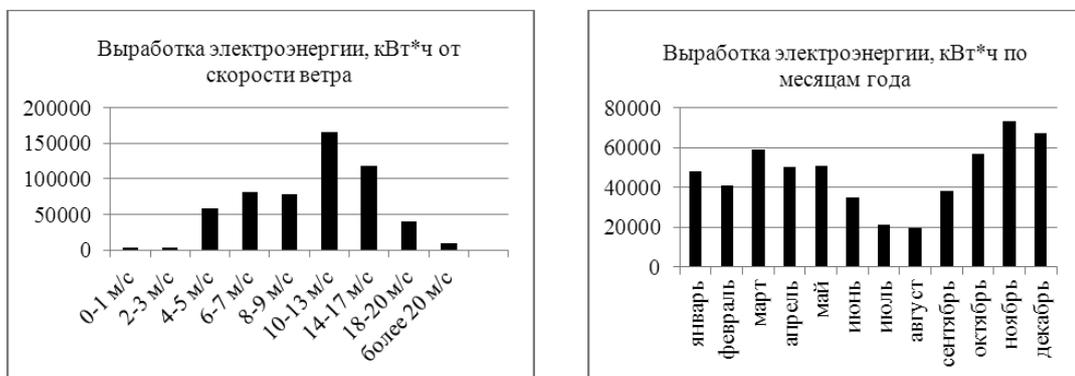


Рис. 1. Графики зависимости выработки электроэнергии от скорости ветра и по месяцам года

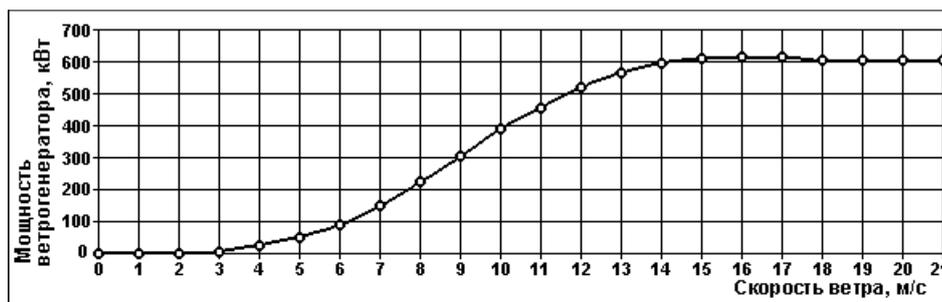


Рис. 2. Зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра

Главная часть, редуктор и генератор смонтированы на основной раме.

Ротор состоит из трех лопастей (материал: искусственное армированное стекловолокно ГФК), которые соединены фланцем со ступицей. Изменение угла лопастей ротора осуществляется электродвигателем. Ротор прикреплен к башне с наветренной стороны. Общий диаметр ротора составляет 46 м.

Регулировка работы осуществляется посредством так называемой «Актив - Шталь» установки. При скорости ветра больше номинальной, профиль лопастей разрывает воздушный поток и за лопастями образуются завихрения.

После установки лопастей ротора в оптимальное положение начинается работа энергоустановки. При включении установки лопасти ротора поворачиваются на угол до 20°, в исключительных случаях до 90°. С учетом этого устанавливается частота вращения ротора. При уменьшении частоты вращения включается вторичный тормоз, после чего происходит остановка ротора. Затем лопасти ротора друг за другом поворачиваются на 90° (положение флюгера).

Благодаря переместителю лопастей ротора установка может особенно мягко передавать энергию в сеть. Эта техника и специфические приспособления установки и повышают устойчивость сети Enron Wind 600a в сравнении с общепринятой «Пассив-Шталь» установкой.

Применяется специально разработанный планетарно-колесный высокопроизводительный редуктор. Он расположен сбоку от механизма передачи вращательного момента через резиновые элементы муфты сцепления на основной раме. Система крепления устанавливается на быстро и медленно вращающемся валу редуктора, который обеспечивает его безопасную работу.

Тормозная система Enron Wind 600a оснащена двумя независимыми устройствами для остановки. Остановка происходит через переместитель лопасти ротора (первая тормозная система). При этом лопасти ротора поворачиваются сначала на 20 или на 90° в так называемое положение флюгера. В другом случае остановка происходит благодаря тормозной шайбе на быстровращающемся валу редуктора (вторая тормозная система). Первая тормозная система это амортизационная батарея. Вторая тормозная система обеспечивает и выполняет функцию половины или всей тормозной системы. Это редуцирует нагрузку и повышает жизнестойкость всех компонентов, находящихся в установке.

Торможение может осуществляться электрическими приборами защиты, как чувствительными к вибрации, так и к перепадам нагрузки или вручную с пульта управления. Переместитель лопастей ротора должен переставать действовать, когда действует тормозная шайба на быстровращающемся валу редуктора. Тормозная система на быстровращающемся валу ротора приводится в действие мягко, так что простой сети тормозного устройства безопасен.

Генератор Enron Wind 600a имеет переключатель полюсов (6 и 4 полюса). На маленькой ступени (6 полюсов) он производит номинальную мощность 150 кВт. Благодаря малым ступеням генератора, ветряная энергоустановка может работать в областях с низкой скоростью ветра, а в результате малой частоты вращения уменьшается шум.

Сцепление состоит из пластины сцепления со стороны редуктора и эластичного сцепления со стороны генератора. Такое исполнение исключает вибрацию корпуса. Вся система сцепления свободно просматривается.

Наибольший эксплуатационный режим достигается моментом трения, производимым плоскостью скольжения, которая уменьшает поверхность трения. Для исключения вращательного момента применяются три тормозных мотора. Торможение происходит без тока.

Машинное отделение вращается приводом направления на ветер. Время включения, продолжительность, направление вращения мотора и чувствительность к направлению ветра соответствуют мировым стандартам.

Регулятор направления на ветер, кроме этого, располагает установкой отключения кабеля, которая автоматически отключает кабель, когда установка поворачивается в связи с изменением направления ветра и частота вращения увеличивается более чем в два раза.

В машинном отделении, так же как и в створе башни, находится пульт управления, с которого обслуживается установка. Это дает возможность во время работы установки наблюдать на экране дисплея за направлением ветра, состоянием тормозов, эксплуатационными режимами установки (производительностью, температурой и т.д.).

Башня находится на монтажной платформе и дополнительном неподвижном фундаменте, отвечающим безопасному состоянию обслуживающего персонала. Каждая секция башни освещается. Подъем осуществляется по внутренней лестнице, которая

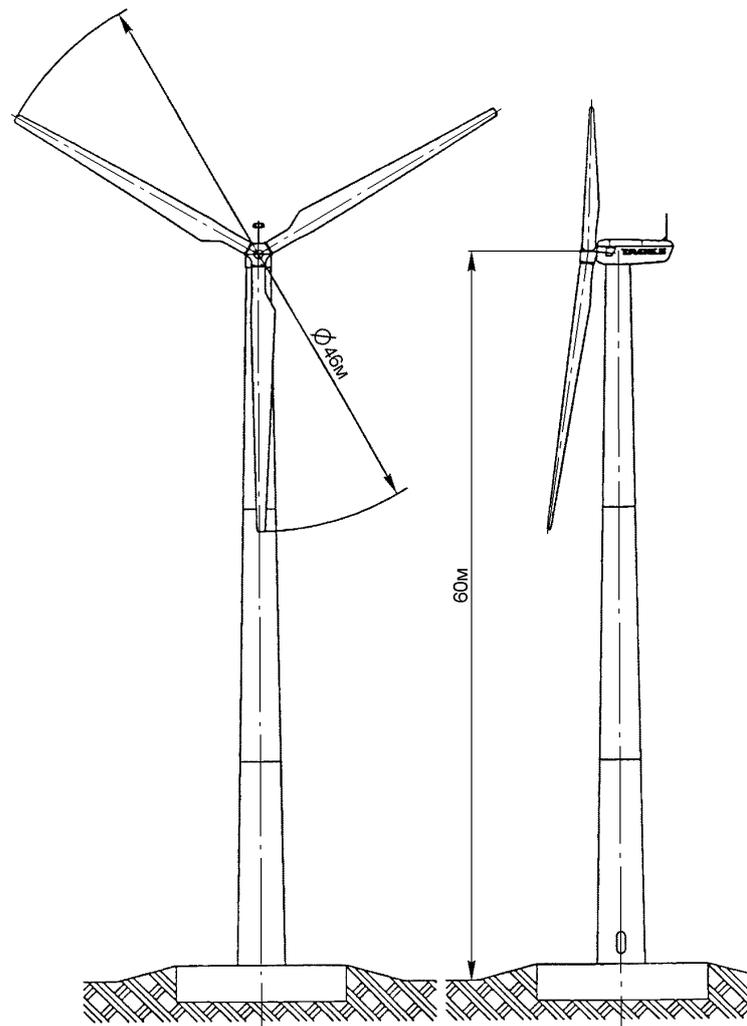


Рис. 3. Ветрогенератор Enron Wind 600a – общий вид

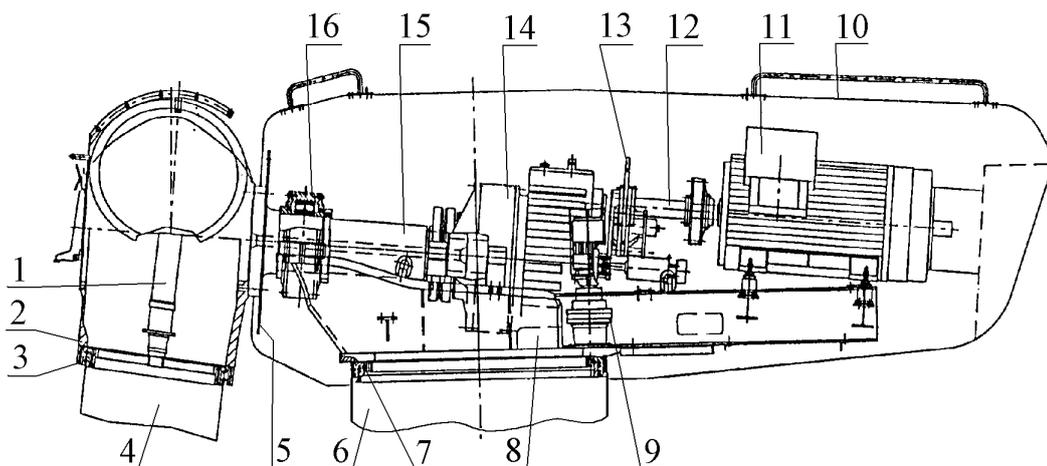


Рис. 4. Машинное отделение ветрогенератора Enron Wind 600a:

1 – привод передвижения лопастей; 2 – втулка ротора; 3 – поршни лопастей; 4 – лопасти ротора; 5 – устройство крепления ротора; 6 – башня; 7 – соединительный круг вращения; 8 – основная рама; 9 – привод направления; 10 – кожух; 11 – генератор; 12 – сцепление; 13 – тормоз; 14 – редуктор; 15 – ось ротора; 16 – опорный подшипник

примыкает к стене башни, она удобна и не зависит от погоды. Пульт управления ветряной энергоустановки размещен в стволе башни; таким образом, электронное управление имеет двойную защиту.

Все части установки защищены от коррозии, как правило, специальным многократным наплавлением. Лопасти ротора подвергаются ежегодной проверке. Кроме того, установка защищена против удара молнии благодаря заземлению и зонту, расположенному глубоко в земле.

Общий вид ветрогенератора Enron Wind 600a и его машинного отделения представлен на рис. 3 и 4 соответственно.

В ветрогенераторе Enron Wind 600a мотор выполняют чувствительным к ветру. Надземная высота башни: 50, 60, 70, 76,9 м. В стволе башни находится внутренняя лестница, которая имеет прямой доступ в машинное отделение.

Оценка экономической эффективности ветрогенератора Enron Wind 600a в сравнении с другими ветрогенераторами того же производителя осуществлялась по экстраполяции кривой производительности между наибольшей скоростью ветра и скоростью включения с оценкой производительности при наибольшей скорости ветра.

Цены на ветрогенераторы Enron Wind зависят от диаметра рабочего колеса, высоты ступицы колеса, типа установки и колеблются от 28121 до 86920 евро.

Все расходы можно разделить на предварительные, связанные с приобретением и монтажом ветрогенератора, и производственные, связанные с его эксплуатацией.

Ежегодные расходы составляют по ветроэнергоустановкам: Enron Wind 600e/ Enron Wind 600a – 307 евро; Enron Wind 1.5/ Enron Wind 1.5s – 511 евро. Расходы при установке могут несколько отступать от проектных.

Таким образом, по нашим оценкам, цена ветрогенератора с затратами на монтаж составляет около 660000 евро, эксплуатационные расходы в год – около 3000 евро. Учитывая, что стоимость 1 кВт\*ч составляет около 0,03 евро, то срок окупаемости ветрогенератора получается около 50 лет.

Однако для развития ветроэнергетики на территории Алтайского края и России вышеуказанная ВЭУ Enron Wind, как и другие зарубежные ВЭУ, являются очень затратными в эксплуатации. Исходя из российских условий и ветроэнергетического потенциала Юго-западной Сибири и Алтайского края, требуется

разработка и внедрение отечественных более эффективных и экономичных ветроэнергоустановок, рассчитанных на низкие скорости ветра от 3 м/с [8-10].

**Выводы.** 1. Разработана методика расчета производительности ветрогенератора в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей.

2. На основе разработанной методики и расчета построены графики суммарной среднесезонной выработки электроэнергии в зависимости от скорости ветра, графики помесечной производительности и суммарный график производительности за год.

3. Время работы ветрогенератора составляет 30 % от всего времени. Коэффициент использования установленной мощности 0,1049, т.е. около 10,5 %.

4. Максимальная выработка – весной и осенью, минимальная – летом. Неравномерность выработки по месяцам – более чем в три раза. Наиболее эффективная выработка – в диапазоне скоростей ветра от 10 до 13 м/с.

5. Работа ветроэнергоустановки Enron Wind возможна только совместно с централизованным электроснабжением.

6. Идеальная выработка мощности ветрогенератором составляет 5256 МВт\*ч в год. Реальная выработка мощности ветрогенератором составляет около 551 МВт\*ч в год, рассчитанная по среднесезонным обеспеченностям скоростей ветра для г. Барнаула Алтайского края.

7. Цена ветрогенератора с затратами на монтаж составляет около 660000 евро, эксплуатационные расходы в год – около 3000 евро. При стоимости 1 кВт\*ч около 0,03 евро срок окупаемости ветрогенератора составляет около 50 лет.

8. Исходя из российских условий и ветроэнергетического потенциала Юго-Западной Сибири и Алтайского края, требуется разработка и внедрение отечественных более эффективных и экономичных ветроэнергоустановок, рассчитанных на низкие скорости ветра от 3 м/с.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бальзанников М.И. Решение проблем развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии в Среднем Поволжье // Научная школа академика Ю.С. Васильева в области энергетики и охраны окружающей среды: сб. научн. тр. СПб.: СПбГПУ, 2004. С. 25-39.

2. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования / СГАСУ. Самара, 2008. 331 с.

3. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Свит П.П., Семкин Б.В. Энергосбережение с использованием микро-ГЭС на Кольванском камнерезном заводе // Ползуновский Вестник. 2013. Вып 4-2. С. 84-89.

4. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Усовершенствованные конструктивные решения гидро- и ветроэнергетических установок и выбор их основных параметров // Энергия в ресурс тежаш муаммолари (Проблемы энерго- и ресурсосбережения). Ташкент, 2013. № 3-4. С. 88-94.

5. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Результаты исследований ветровых энергоустановок малой мощности для условий Среднего Поволжья // Непрерывное архитектурно-строительное образование как фактор обеспечения качества среды жизнедеятельности: Труды РААСН. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. арх-строит. ун-та, 2005. С. 236-243.

6. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В. Исследование влияния концентраторов ветрового потока ветроэнергоустановок // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. № 10. С. 113-117.

7. Иванов В.М., Родивилина Т.Ю., Бычков Д.С., Клейн О.Г., Иванова П.В. Возможные перспективы развития ветроэнергетики на территории Алтайского края // Вестник алтайской науки. 2004. № 1. С. 109-119.

8. Бальзанников М.И., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Ветроагрегат // Патент РФ 2167336. 2001. Бюл. № 14.

9. Бальзанников М.И., Алексеев Е.И., Евдокимов С.В. Роторный ветроагрегат с полноповоротными лопастями // Патент РФ 2347103. 2009. Бюл. № 5.

10. Бальзанников М.И. Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии и особенности их воздействия на окружающую среду // Вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 1. С. 336-342.

© **Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Бахтина И.А., Трутнев П.С., 2014**

Об авторах:

**ИВАНОВ Владимир Михайлович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: tgvv@mail.ru

**ИВАНОВА Татьяна Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: trodivilina@mail.ru

**БАХТИНА Ирина Алексеевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: bia-altai@mail.ru

**ТРУТНЕВ Павел Сергеевич**

аспирант кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46  
E-mail: tgvv@mail.ru

**IVANOV Vladimir M.**

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair  
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov  
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46  
E-mail: tgvv@mail.ru

**IVANOVA Tatyana Yu.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair  
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov  
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46  
E-mail: trodivilina@mail.ru

**BAKHTINA Irina A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair  
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov  
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46  
E-mail: bia-altai@mail.ru

**TRUTNEV Pavel**

Postgraduate Student of of Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair  
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov  
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46  
E-mail: tgvv@mail.ru

Для цитирования: *Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Бахтина И.А., Трутнев П.С.* Оценка возможности развития ветроэнергетики в Алтайском крае с использованием зарубежных ветроэнергоустановок // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. Вып. № 4 (17). С. 92-97.