



Г.К.Тугельбаева¹, А.С.Уразов¹, Е.К.Адилбеков², О.Б.Болотнова¹

¹*Военный институт Сухопутных войск имени С.Нурмагамбетова,
г. Алматы, Республика Казахстан*

²*Казахский Национальный аграрный исследовательский университет,
г. Алматы, Республика Казахстан
(E-mail: Gk0430@mail.ru)**

Расчет мощности мобильных маломощных ветроустановок для обеспечения отдаленных военных подразделений

Казахстан занимает девятое место в мире по площади и расположен в средней Азии, где природные условия позволяют использовать альтернативные источники энергии. Потенциал ветра и солнца создают все условия для развития и использования зеленой энергетики [1, 2].

В Казахстане с начала XXI века стартовали проекты по развитию возобновляемых и альтернативных источников энергии. Фундамент развития зеленой энергии в Казахстане заложил академик Национальной Академии наук Республики Казахстан, доктор технических наук, профессор Ш. А. Ершин. В настоящее время в стране используются ветротрубины карусельного типа, работающие в режиме Дарье и Бидарье изготовленные под его руководством [1-4].

В данный момент в стране доля возобновляемой энергии составляет около 2% [2].

В настоящее время одним из перспективных направлений в области электро-снабжения является разработка и внедрение малоэнергоёмких мобильных ветроустановок для снабжения электроэнергией небольших военных подразделений. На базе грантового финансирования были проведены работы над созданием мобильной маломощной ветроустановки группой ученых Министерства обороны под руководством полковника Е.Адилбекова.

В данной статье рассматривается разработка математической модели для обоснования параметров ветроустановки малой мощности с вертикальной осью мобильного типа.

Результаты данного исследования могут быть использованы при создании ветроустановки с малой мощностью мобильного типа для обеспечения электроэнергией отдаленных населенных пунктов и военных частей.

Ключевые слова: скорость ветра, ветроэнергетическая установка, энергия, ветровой потенциал, мощность ветра, возобновляемый источник энергии.

Введение

Страны, с огромной территорией, где многие небольшие потребители электроэнергии разбросаны по всей площади и доставка электроэнергии классическим способом невозможна или требует больших материальных затрат нуждаются в автономных электроустановках. Казахстан относится к этой категории стран. Например: некоторые гарнизоны, отдельные войсковые части, аулы, животноводческие комплексы находятся в отдаленных или в



трудно доступных местах, куда доставка электроэнергии практически невозможна. В связи с этим, возникла необходимость разработки учеными новых источников альтернативной энергии.

Методы исследования

Для определения мощности ветроустановки разработана математическая модель с использованием компьютерных технологий.

Основная часть

В данной статье рассматривается использование ветрового потенциала Республики Казахстан, как источника зеленой энергетики. Для разработки и создания эффективной ветроустановки, необходимы сведения о воздушных потоках. Факторы, которые влияют на воздушный поток: турбулентность, частота, направление, скорость, а также рельеф местности - горы, долины, пустыни, водная поверхность, растительность и строения. Все перечисленные факторы необходимо учитывать при разработке ветро-электроустановки[1, 4].

В работе, с учетом значения скорости ветра по регионам, создается математическая модель для определения оптимальных основных параметров маломощного ветроагрегата [5].

Средняя скорость ветрового потенциала по месяцам получена из сборника информационно - аналитического центра по климату Казахстана[6]

Таблица 1. Средняя скорость ветрового потенциала по месяцам по регионам

Месяцы	Средняя скорость ветра в Южном регионе по месяцам (м/с)	Средняя скорость ветра в Северном регионе по месяцам (м/с)	Средняя скорость ветра в Восточном регионе по месяцам (м/с)	Средняя скорость ветра в Западном регионе по месяцам (м/с)
1	2,33	4,12	2,8	4,31
2	2,56	4,17	2,75	4,65
3	2,51	3,64	2,4	4,66
4	2,84	4,12	3,13	4,62
5	2,64	4,11	3,2	4,1
6	2,51	3,47	2,81	3,87
7	2,56	2,91	2,43	3,7
8	2,61	2,91	2,33	3,81
9	2,34	3,33	2,48	3,83
10	2,78	3,78	2,81	4,05
11	1,96	4,04	2,96	4,25
12	1,91	4,92	2,66	4,17

Из таблицы 1 определяем среднюю скорость ветра по регионам:

- в южном регионе скорость ветра распределена равномерно, размах вариации ветра составляет всего 0, 93 м/с;



- в северном регионе средняя скорость ветра по сезонам имеет существенное отклонение, размах вариации ветра составляет 2, 01 м/с;

- в восточном регионе скорость ветра носит стабильный характер, размах вариации составляет 0, 87 м/с;

- в западном регионе средняя скорость ветра составляет 4,2 м/с, размах вариации - 0, 96 м/с, что указывает на стабильность скорости ветра.

Основным техническим показателем при разработке электроустановки является мощность.

Мощность является функцией от скорости ветра и количества оборотов лопастей ветроагрегата [7, 8]:

$$P = f(v, n). \quad (1)$$

Коэффициент, определяющий эффективность использования энергии ветра, зависит от мощности электроустановки и от скорости [7]:

$$C_N = \frac{P}{P_6}, \quad (2)$$

где P - мощность электроустановки, P_6 - мощность потока ветра.

Мощность потока ветра зависит от третьей степени скорости ветра и ометаемой площади ветроустановки [8]:

$$P_6 = \frac{\rho S v^3}{2}, \quad (3)$$

где ρ - массовая плотность воздуха, v - скорость ветра, $S = 2\pi RH$ - ометаемая площадь ветроколеса, R - радиус ветроколеса, H - высота лопасти.

В формулу (2) подставим формулу (3) и, учитывая геометрические и природные факторы, получим окончательную формулу для расчета мощности ветроустановки [7, 8]:

$$P = \frac{9}{16} \rho v^3 b Z^2 C_N r i, \quad (4)$$

где $b = \frac{16\pi RH}{9Z^2 r i}$ - ширина лопастей, $Z = \frac{\omega R}{v}$ - быстроходность ветроустановки, r - внутреннего круга, i - количества лопастей.

Результаты исследования

Для расчета мощности ветроустановки используем следующие данные: скорость ветра (таблица 1), плотность воздуха $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ и давление воздуха $P = 760 \text{ мм.рт.ст.}$, средняя годовая скорость ветра, ометаемая площадь $S = 1,82 \text{ м}^2$ и коэффициент использования энергии потока ветра по Жуковскому-Бетцу $C_N = 0,593$ (таблица 2) [8].



Таблица 2. Зависимость мощности по месяцам и по регионам

Месяцы	Средняя мощность ветроустановки в Южном регионе по месяцам (Вт)	Средняя мощность ветроустановки в Северном регионе по месяцам (Вт)	Средняя мощность ветроустановки в Восточном регионе по месяцам (Вт)	Средняя мощность ветроустановки в Западном регионе по месяцам (Вт)
1	8,532452157	47,17346168	14,8074472	54,00548979
2	11,31686134	48,91186961	14,02827207	67,82111999
3	10,6666308	32,5319615	9,3248064	68,25961725
4	15,45116103	47,17346168	20,68421824	66,51690375
5	12,41131732	46,83079865	22,1032448	46,48979904
6	10,6666308	28,18347389	14,96666571	39,09660025
7	11,31686134	16,62206842	9,678875856	34,16734799
8	11,99299412	16,62206842	8,532452157	37,30620099
9	8,642784232	24,90799668	10,28871509	37,8967896
10	14,49240581	36,4318729	14,96666571	44,80961044
11	5,07895439	44,47850629	17,49368217	51,78129277
12	4,700090285	80,33437274	12,69553504	48,91186961

Согласно таблицы 2 получены графики зависимости мощности ветроустановок по месяцам в различных регионах Казахстана.



Рисунок 1. Зависимость мощности по месяцам по Южному региону

Как видно из графика 1 максимальная мощность выработки электроэнергии в южном регионе наблюдается весной и осенью, а в зимний период мощности варьируются в пределах 6-8 МВт.



Рисунок 2. Зависимость мощности по месяцам по Северному региону

В Северном регионе выработка электроэнергии достигает максимума в ноябре и декабре. В летний период выработка электроэнергии составляет около 18 МВт, что является минимальным значением за весь период.



Рисунок 3. Зависимость мощности по месяцам Восточному региону

В Восточном регионе выработка электроэнергии колеблется в течение года от 8 МВт до 22 МВт, размах амплитуды составляет 14 МВт.



Рисунок 4. Зависимость мощности по месяцам по Западному региону



В западном регионе максимальная выработка энергии приходится на зимний и весенний периоды, а в летние и осенние месяцы объем выработки электроэнергии уменьшается и минимальное значение составляет около 35 МВт.

Из графиков 1-4 зависимости мощности от скорости ветра, можно сделать следующие выводы:

- в южном регионе выработка электроэнергии ВЭУ колеблется от 5-16 МВт, размах амплитуды составляет всего 11 МВт, что говорит о равномерности скорости ветра в течение года;

- в северном регионе размах выработки электроэнергии составляет 62 МВт, это говорит о неравномерности скорости ветра в течение года;

- в восточном регионе максимальная выработка электроэнергии приходится на весенний период, а минимальные значения наблюдаются в летний период и составляют соответственно 22 МВт и 8 МВт;

- на западе выработка электроэнергии, как видно из графика более равномерна и размах амплитуды составляет 34 МВт.

Заключение

Таким образом, из анализа зависимости мощности от скорости ветра ветроустановки типа Дарье [1, 2] следует, что ее более выгодно использовать в северных и западных регионах, где скорость ветра достигает наибольшего значения.

Результаты работы можно использовать при обосновании мощности, создаваемой ветроустановкой для обеспечения объектов с небольшой потребностью в электроэнергии, таких как гарнизоны, отдельные воинские формирования и другие населенные пункты.

Список литературы:

1. Ветроэнергетика. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vetrogenerator.ru/veter.htm>, (дата обращения: 08.09.2022).
2. akordakz.
3. Ершина А.К., Ершин Ш.А., Жапасбаев У.К. Основные теории ветратурбины Дарье. Алматы, 2001г. –104 с.
4. Типы ветроэнергетических установок. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.aerogreen.info/produkts.ru/html/> (дата обращения 10.03.2017).
5. Морозов Д.А. Синтез ветроустановки малой мощности с вертикальной осью вращения: диссертация на кандидата технических наук. – Ижевск: ИГТУ, 2010. – 142 с.
6. Ветроэнергетика – общая информация. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.solarhome.ru/basics/wind/> (дата обращения 10.04.2017).
7. Адильбеков Е.К., Тугельбаева Г.К. Эффективное использование альтернативной энергии для оснащения войсковых частей и отдаленных населенных пунктов // Гидрометеорология и экология. Ежеквартальный научно-технический журнал. Алматы, 2023. – С. 17-23.
8. Адильбеков Е.К., Тогусов А.К., Тугельбаева Г.К. Разработка математической связи параметров описывающие аэродинамические процессы ветроустановки с вертикальной осью // Научные труды Военно-инженерного радиоэлектроники и связи. Военно-научно-технический журнал. Алматы, 2024. – С. 82-90.



Шалғайдағы әскери бөлімшелерді қамтамасыз ету үшін жылжымалы аз қуатты жел қондырғыларының қуатын есептеу

Қазақстан жер көлемі бойынша әлемде тоғызыншы орын алады және табиғи жағдайлары баламалы энергия көздерін пайдалануға мүмкіндігі мол Орталық Азияда орналасқан. Жел мен күннің әлеуеті жасыл энергетиканы дамытуға және пайдалануға барлық жағдайды жасайды [1, 2].

Қазақстанда жаңартылатын және баламалы энергия көздерін дамыту жобалары ХХІ ғасырдың басында қолға алынды. Қазақстандағы жасыл энергетиканы дамытудың негізін Қазақстан Республикасының Ұлтық ғылым академиясының академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор Ш. А. Ершин қалады. Қазіргі уақытта елімізде оның жетекшілігімен жасалған Дарье және Бидарье режимдерінде жұмыс істейтін карусель типті жел қондырғылары қолданылады [1-4].

Қазіргі уақытта елімізде жаңартылатын энергияның үлесі 2% шамасында [2].

Бұл мақалада вертикаль өсті мобильді аз қуатты жел қондырғысының параметрлерін негіздеу үшін математикалық модельді құру қарастырылады. Осы зерттеудің нәтижелері шалғай елді мекендер мен әскери бөлімдерді электр энергиясымен қамтамасыз ету үшін ұтқыр үлгідегі қуатты аз жел қондырғысын құру кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Бұл зерттеу барысында алынған нәтижелерді шалғай орналасқан мекен-жайларды және әскери бөлімшелерді электрэнергиясымен қамтуға арналған мобильді аз қуатты желқұрылғыларын жасауға қолдануға болады.

Кілт сөздер: жел жылдамдығы, жел энергетикалық қондырғы, энергия, жел әлеуеті, жел қуаты, жаңартылатын энергия көзі.

G.K. Tugelbaeva¹, A.S.Urazov¹, E.K. Adilbekov², O.B.Bolotnova¹

Calculation of the capacity of mobile low-power wind turbines to provide remote military units

Kazakhstan ranks ninth in the world in area and is located in Central Asia, where natural conditions allow the use of alternative energy sources. Wind and solar potential create all conditions for the development and use of green energy [1, 2].

Projects for the development of renewable and alternative energy sources have been launched in Kazakhstan since the beginning of the 21st century. The foundation for the development of green energy in Kazakhstan was laid by Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor Sh. A. Ershin. Currently, carousel-type wind turbines are used in the country, working in the Daria and Bidarya modes made under his leadership [1-4].

At the moment, the share of renewable energy in the country is about 2% [2].

This article discusses the development of a mathematical model for justifying the parameters of a wind power plant with a small power and a vertical axis of a mobile type.

The results of this study can be used to create a wind farm with a low power of a mobile type to provide electricity to remote settlements and military units.

Keywords: wind speed, wind power plant, energy, wind potential, wind power, renewable energy source.

References:

1. Vetroenergetika [Wind energy]. [Electronic resource]. URL: <http://www.vetrogenerator.ru/veter.htm>. [In Rus.].
2. akordakz.



3. Yershina, A.K., Yershin, S.H.A., Zhaspasbayev, U.K. (2001). Osnovnyye teorii vetraturbiny Dar'ye [Basic theories of Darrieus wind turbines]. Almaty. –104 p.

4. Tipy vetroenergeticheskikh ustanovok [Types of wind power plants]. [Electronic resource]. URL :<http://www.aerogreen.info/produkts.ru/html/>. [In Rus.].

5. Morozov, D.A. (2010). Sintez vtroustanovki maloy moshchnosti s vertikal'noy os'yu vrashcheniya: dissertatsiya na kandidata tekhnicheskikh nauk [Synthesis of a low-power wind turbine with a vertical axis of rotation: dissertation for a candidate of technical sciences]. – Izhevsk: IGTU. – 142 p.

6. Vetroenergetika – obshchaya informatsiya [Wind energy - general information]. [Electronic resource]. URL: <http://www.solarhome.ru/basics/wind/>. [In Rus.].

7. Adil'bekov, Ye.K., Tugel'bayeva, G.K. (2023). Effektivnoye ispol'zovaniye al'ternativnoy energii dlya osnashcheniya voyskovykh chastey i otdalennykh naselennykh punktov [Efficient use of alternative energy to equip military units and remote settlements // Hydrometeorology and Ecology]. // Gidrometeorologiya i ekologiya. Yezhekvartal'nyy nauchno-tekhnicheskij zhurnal. Almaty. – P. 17-23.

8. Adil'bekov Ye.K., Togusov A.K., Tugel'bayeva G.K. (2024). Razrabotka matematicheskoy svyazi parametrov opisyvayushchiye aerodinamicheskiye protsessy vtroustanovki s vertikal'noy os'yu [Development of mathematical connection of parameters describing aerodynamic processes of wind turbines with a vertical axis]. // Nauchnyye trudy Voenno-inzhenernogo radioelektroniki i svyazi. Voenno-nauchno-tekhnicheskij zhurnal. Almaty. – P. 82-90

Тугельбаева Гулмира Кенесбаевна	заведующий кафедры общеобразовательных дисциплин Военного института Сухопутных войск МО РК имени Сағадата Нұрмағамбетова, кандидат физико-математических наук.
Тугельбаева Гулмира Кенесбаевна	Сағадат Нұрмағамбетов атындағы ҚР ҚМ Құрлық әскерлері әскери институтының жалпы білім беру пәндері кафедрасының меңгерушісі, физика-математика ғылымдарының кандидаты.
Tugelbaeva Gulmira Kenesbaevna	head of the Department of General Education Disciplines of the Military Institute of the Ground Forces of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan named after Sagadat Nurmagambetov, candidate of physical and mathematical sciences.

Уразов Амангельды Сергеевич	доцент кафедры общеобразовательных дисциплин Военного института Сухопутных войск МО РК имени Сағадата Нұрмағамбетова, кандидат экономических наук
Уразов Амангельды Сергеевич	Сағадат Нұрмағамбетов атындағы ҚР ҚМ Құрлық әскерлері әскери институтының жалпы білім беру пәндері кафедрасының доценті, экономика ғылымдарының кандидаты
Urazov Amangeldy Sergeevich	associate Professor of the Department of General Disciplines of the Military Institute of the Ground Forces of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan named after Sagadat Nurmagambetov, Candidate of Economic Sciences



Адилбеков Еркин Корабаевич	начальник военной кафедры Казахского Национального аграрно-исследовательского университета, доктор философии (PhD), ассоциированный профессор
Адилбеков Еркин Корабаевич	Қазақ ұлттық аграрлық-зерттеу университеті әскери кафедрасының бастығы, философия докторы (PhD), қауымдастырылған профессор
Adilbekov Erkin Korabaevich	Associate Professor of the Department of General Disciplines of the Military Institute of the Ground Forces of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan named after Sagadat Nurmagambetov, Candidate of Economic Sciences

Болотнова Ольга Борисовна	преподаватель кафедры общеобразовательных дисциплин Военного института Сухопутных войск МО РК имени Сагадата Нурмагамбетова
Болотнова Ольга Борисовна	Сағадат Нұрмағамбетов атындағы ҚР ҚМ Құрлық әскерлері әскери институтының жалпы білім беру пәндері кафедрасының оқытушысы
Bolotnova Olga Borisovna	Lecturer of the Department of General Education Disciplines of the Military Institute of the Ground Forces of the Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan named after Sagadat Nurmagambetov