



МАШИНА ЖАСАУ  
МАШИНОСТРОЕНИЕ  
MECHANICAL ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212\_2023\_1\_254

MPHTI 55.38.29

**С.Ж. Шаймурунов<sup>1</sup>, К.С. Рыспаев<sup>1</sup>, А.К. Курманов<sup>1</sup>, А.И. Дерепаскин<sup>1</sup>, В.Ю. Сапа<sup>1</sup>,  
А.О. Исмаилов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>НАО «Костанайский Региональный Университет имени А. Байтурсынова», г. Костанай,  
Казахстан

*E-mail: mister\_sayat@mail.ru\**

*E-mail: rys-kyanush@list.ru*

*E-mail: kurmanov\_ayap@mail.ru*

*E-mail: a.derepaskin48@mail.ru*

*E-mail: engineering\_01@mail.ru*

<sup>2</sup>Костанайский инженерно-экономический университет имени М. Дулатова, г. Костанай,  
Казахстан

*E-mail: rector@kineu.kz*

## КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОВОЙ УСТАНОВКИ

### ТІГІНЕН-ОСЬТІК ЖЕЛ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-РЕЖИМДІК ПАРАМЕТРЛЕРІ

#### STRUCTURAL AND REGIME PARAMETERS OF A VERTICAL-AXIAL WIND TURBINE

**Аннотация.** Проблема энергоснабжения зарядных станций электромобилей на основе альтернативных источников энергии может быть успешно решена за счет применения вертикально-осевых роторных ветроэнергетических установок (ВО РВЭУ), которые экологически безопасны и технически более универсальны. Таким образом, сформировалась проблема, состоящая в необходимости разработки основ расчёта роторных вертикально-осевых ветродвигателей и условий их применения для энергообеспечения зарядных станций электромобилей на основе альтернативных источников энергии.

В статье описан процесс проведения экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров вертикально-осевой ветровой установки. Проведена обработка результатов эксперимента с помощью программы MathCAD 14, сделан анализ поиска максимальных и минимальных значений конструктивно-режимных параметров ветровой установки.

**Ключевые слова:** ветроустановка; мощность; эксперимент; коэффициент использования энергии ветра; возобновляемые источники энергии.

**Аңдатпа.** Баламалы энергия көздеріне негізделген электромобильдерді зарядтау станцияларын энергиямен жабдықтау проблемасын экологиялық қауіпсіз және техникалық жағынан анағұрлым жан-жақты болып табылатын тік осьті айналмалы Жел энергетикалық қондырғыларын (РВЭУ-де) қолдану арқылы сәтті шешуге болады. Осылайша, роторлы тік осьті жел қозғалтқыштарын есептеуді және оларды баламалы энергия көздері негізінде электромобильдердің зарядтау станцияларын энергиямен қамтамасыз ету үшін қолдану шарттарын әзірлеу қажеттілігінен тұратын мәселе қалыптасты.

Мақалада тігінен – осьтік жел қондырғысының оңтайлы құрылымдық-режимдік параметрлерін

анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізу процесі сипатталған. Mathcad 14 бағдарламасының көмегімен эксперимент нәтижелерін өңдеу жүргізілді, жел қондырғысының құрылымдық-режимдік параметрлерінің максималды және минималды мәндерін іздеуге талдау жасалды.

**Түйін сөздер:** жел қондырғысы; қуат; эксперимент; жел энергиясын пайдалану коэффициенті; жаңартылатын энергия.

**Abstract.** The problem of power supply of electric vehicle charging stations based on alternative energy sources can be successfully solved through the use of vertical-axial rotary wind power plants (VO RVEU), which are environmentally safe and technically more versatile. Thus, a problem has formed, consisting in the need to develop the calculation of rotary vertical-axial wind turbines and the conditions for their use for power supply of electric vehicle charging stations based on alternative energy sources.

The article describes the process of conducting experimental studies to determine the optimal design and operating parameters of a vertical-axial wind turbine. The results of the experiment were processed using the MathCAD 14 program, the analysis of the search for the maximum and minimum values of the design-mode parameters of the wind turbine was made.

**Keywords:** wind turbine; power; experiment; wind power utilization factor; renewable energy sources.

*Введение.* В настоящее время существует огромный спрос на экологически чистый и энергоэффективный транспорт. К такому виду можно отнести электромобили, которые в последние годы достигают первых позиций на мировом рынке. В Казахстане использование такого вида категории машин только зарождается, и по информации EnergyProm в стране в 2021 г. находилось всего 528 электромобилей [1, 2]. К 2020 г. доля возобновляемых источников энергии в Казахстане достигла планируемой цели – 3 %, в связи с этим к 2030 г. предполагается добиться 15 % [2]. Возобновляемые источники энергии являются эффективной альтернативой к ископаемому топливу. Использование всех видов топлива вредит окружающей среде, т.к. происходит выброс углерода, вызывающий повышение температуры воздуха, что ведет к глобальному потеплению, возникновению засухи и потери урожайности. Толчком для повышения доли возобновляемых источников энергии в Казахстане, а также к внедрению инфраструктур, которые благоприятно повлияют на все области жизнедеятельности людей, является стратегия «Казахстан-2050». В работе [3-5] приведены результаты опроса среди населения страны и сделаны выводы о том, что люди избегают возобновляемых источников энергии, ссылаясь на финансовые и технические трудности.

В данной работе подробно рассмотрен процесс экспериментальных исследований по определению конструктивно-режимных параметров вертикальной ветроустановки для зарядки электромобилей. Проблема энергоснабжения зарядных станций электромобилей на основе альтернативных источников энергии может быть успешно решена за счет применения вертикально-осевых роторных ветроэнергетических установок (ВО РВЭУ), которые экологически безопасны и технически более универсальны [6, 7]. При этом механическую энергию вращающегося вала можно использовать как для выработки электроэнергии, так и для привода рабочих механизмов напрямую, что уменьшает количество необходимых аккумуляторных батарей. В то же время ВО РВЭУ запускается при низкой стартовой скорости ветра 2,0 м/с и не требует ориентации на ветер [8]. Также все механизмы установки находятся внизу и доступны для технического обслуживания и ремонта в условиях хозяйств.

Таким образом, сформировалась проблема, состоящая в необходимости разработки основ расчёта роторных вертикально-осевых ветровых установок и условий их применения для энергообеспечения зарядных станций электромобилей на основе альтернативных источников энергии

*Материалы и методы исследования.* Техническая подготовка к проведению эксперимента заключалась в создании испытательного оборудования и подборе измерительных приборов.

На этапе проведения экспериментов для получения достоверных данных проводилось несколько серий опытов и делались все необходимые измерения [9].

Во время эксплуатации технологического оборудования информацию можно получать непрерывно или в виде периодического контроля определенных факторов процесса. Другие же параметры можно измерить непосредственно экспрессным методом (расход топлива и электроэнергии, производительность и т.д.) [10, 11, 14-18].

В качестве плана реализации эксперимента выбран некомпозиционный план Бокса-Бенкина для 4-х факторов, варьируемых на 4-х уровнях (табл. 3.1 [12]). В качестве критерия оптимизации приняли мощность ветроустановки, измеряемую в кВт.

Схема экспериментальной установки, созданной для достижения поставленных целей, представлена на рис. 1. Экспериментальная установка состоит из вращающего стола 3, на котором установлены лопасти 2, вентилятора 5, электродвигателя 4 и анемометра 1.

Нами была разработана ветровая установка и проведены ее лабораторные исследования. Техническая новизна разработанной ветровой установки защищена патентом Республики Казахстан №36035 от 30.10.2021[13].

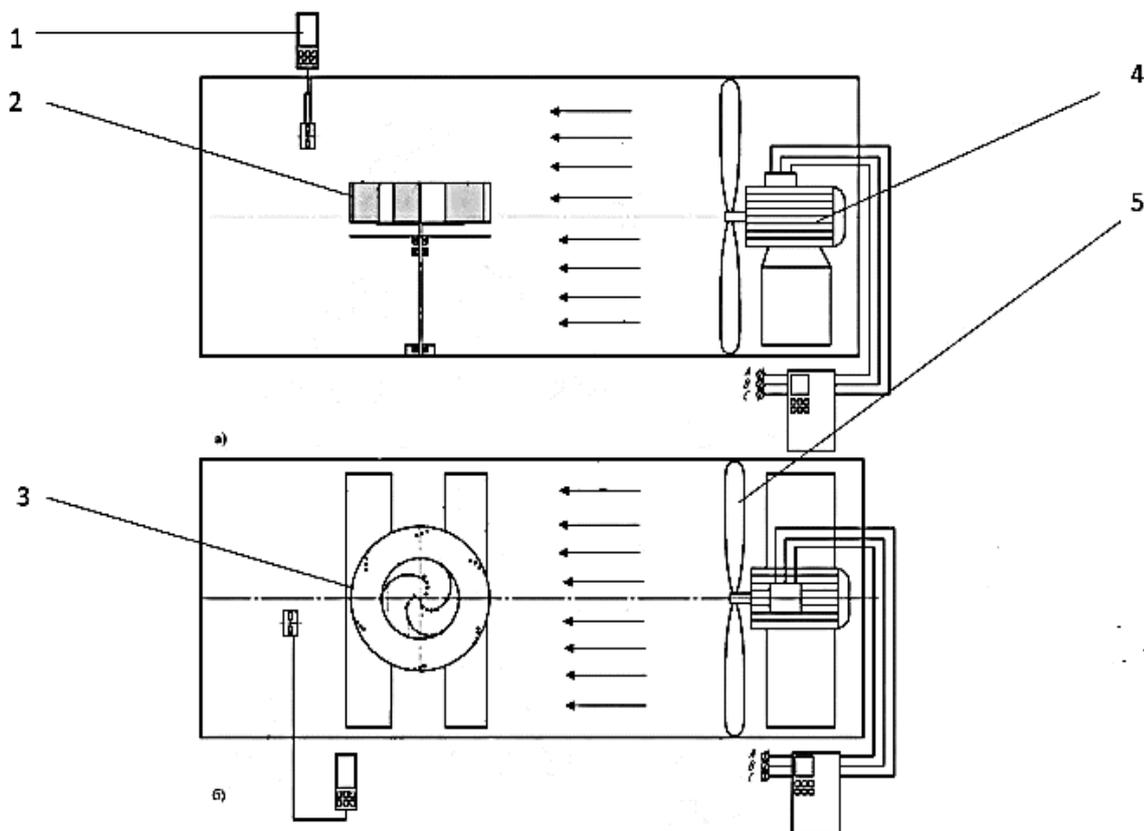
При использовании плана эксперимента сделали кодировку факторов. Замеры прилагаемых усилий проводим по 3 повторности для всех опытов.

После выбора плана эксперимента перешли непосредственно к экспериментам.

Последовательность экспериментов следующая:

1) собирается экспериментальная установка; производится отладка измерительных систем и подготовка регистрирующего оборудования;

2) проведение экспериментов: устанавливаем лопасти с заданными планом углом атаки, высотой лопасти и проходным зазором; устанавливаем заслонку в необходимое положение для создания требуемой скорости ветра; запускаем вентилятор и проводим контрольный замер скорости ветра; при установившемся режиме вращения ротора скоростной камерой проводим видеосъемку вращения ротора за 10 секунд; останавливаем ветроустановку, закрепляем динамометр за вращающийся диск и измеряем давление ветрового потока на лопасть в 3-х положениях ротора; останавливаем вентилятор; подсчитываем полученные данные; записываем данные в журнал экспериментов и выводим среднее значение. Повторяем опыт три раза. Переходим к следующему опыту по плану.



**Рисунок 1.** Схема экспериментальной установки: 1 – анемометр; 2 – лопасти; 3 – вращающийся стол; 4 – электродвигатель; 5 – вентилятор

При проведении эксперимента изменялись следующие факторы: скорость ветрового потока регулировали закрытием заслонки подачи воздуха на вентиляторе в трех положениях, что соответствовало скорости ветра 5, 10 и 15 м/с.; проходной зазор – путем установки лопасти в технологическое отверстие 1, что соответствовало проходному зазору 200 мм, угол атаки лопасти – путем установки профиля лопасти в технологические отверстия 11, 12 и 13, что соответствовало углу 5, 10 и 15 градусов, в технологическое отверстие 2, что соответствовало проходному зазору 300 мм; угол атаки лопасти – путем установки профиля лопасти в технологические отверстия 21, 22 и 23, что соответствовало углу 5, 10 и 15 градусов, в технологическое отверстие 3, что соответствовало проходному зазору 400 мм; угол атаки лопасти – путем установки профиля лопасти в технологические отверстия 31, 32 и 33, что соответствовало углу 5, 10 и 15 градусов (рис. 2).

По методике исследовали зависимость влияния мощности ветроустановки от следующих варьируемых факторов: угла атаки, высоты лопасти, проходного зазора и скорости ветра, согласно выбранному плану эксперимента Бокса-Бенкина. Опыты не дублировали, поскольку центральный опыт повторяли трижды. Все заданные планом опыты были выполнены.

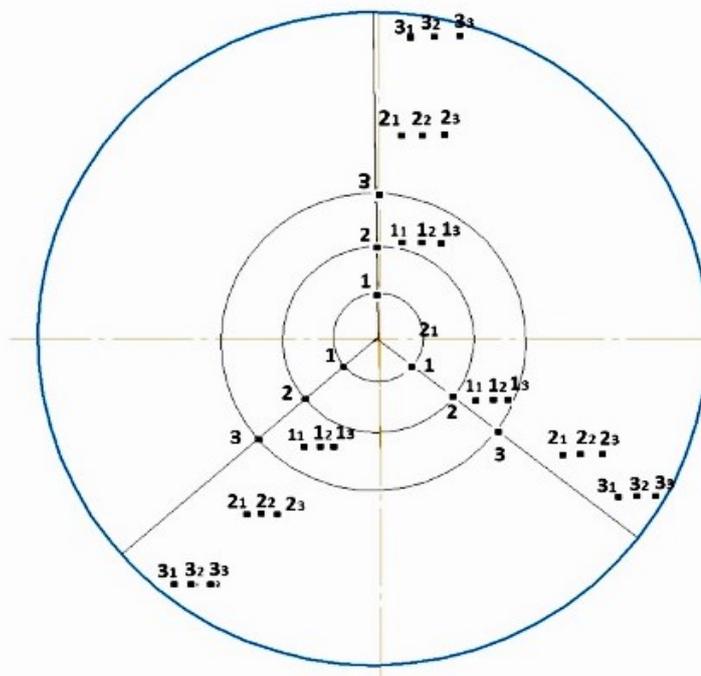


Рисунок 2. Технологические отверстия

*Результаты и их обсуждения.* На основании результатов исследований, проведённых по общей методике, получено уравнение регрессии, описывающее работу ветроустановки в зависимости от угла атаки ( $x_1$ ), высоты лопасти ( $x_2$ ), проходного зазора ( $x_3$ ) и скорости ветра ( $x_4$ ). Критерием отклика эксперимента является мощность ветроустановки ( $Y$ ).

При обработке результатов экспериментов применили программу «MathCAD 14», получено уравнение регрессии, описывающее процесс.

Согласно плану проведения экспериментов Бокса-Бенкина для  $k = 4$ , после проверки коэффициентов на их статистическую значимость уравнение приняло вид:

$$Y = 1,827 - 0,168x_1 + 1,566x_2 + 0,362x_3 + 1,782x_4 - 0,083x_1 x_2 - 0,13x_1 x_4 + 0,34x_2 x_3 + 1,61x_2 x_4 - 0,495x_3 x_4 + 0,124x_1^2 - 0,083x_2^2 + 0,065x_3^2 + 0,263x_4^2.$$

Значимость коэффициентов определялась по критерию Стьюдента.

Адекватность определялась по табличному значению критерия Фишера (Приложение V [12]). Адекватность моделей подтверждается при  $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{табл}}$ .

При  $F_{\text{табл}} = 19,41$ ;  $F_{\text{расч}} = 8,91$  модель адекватна.

Для анализа влияния факторов были построены поверхности отклика (рис. 3 – 8).

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_1, x_2) = 1,827 - 0,168x_1 + 1,566x_2 - 0,083x_1 x_2 + 0,124x_1^2 - 0,083x_2^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

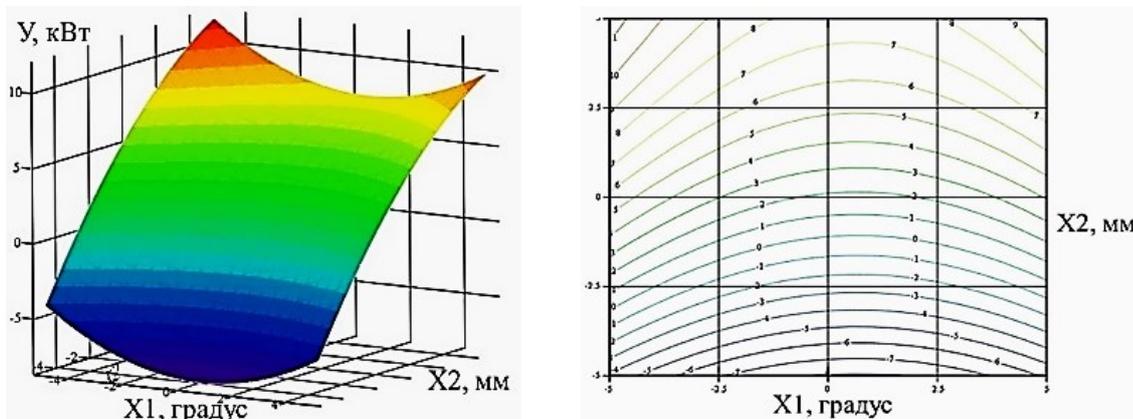
При  $x_1 = 0$  и  $x_2 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 0,12.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 3,602.$$



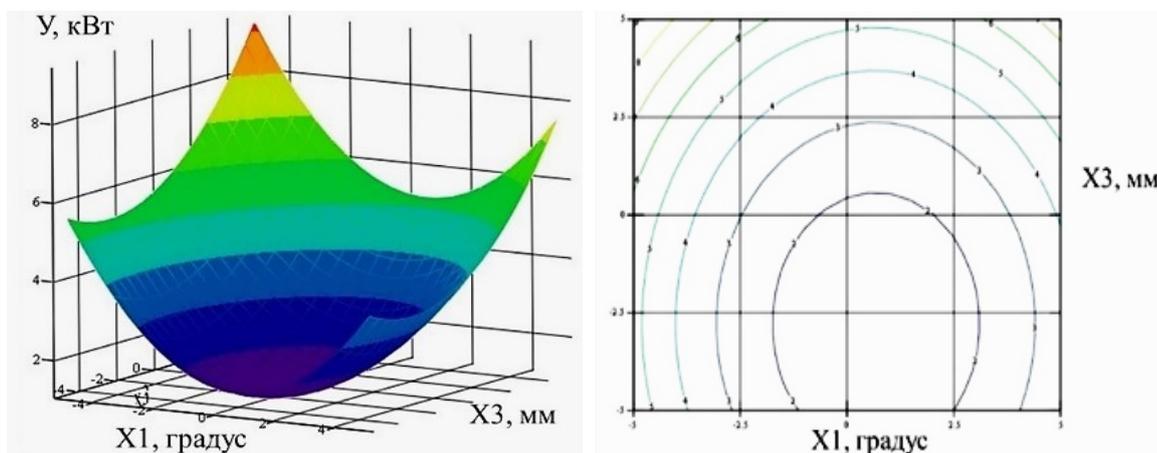
**Рисунок 3.** Зависимость мощности ветровой установки от угла атаки  $x_1$  и высоты лопасти  $x_2$

Анализируя полученную (рис. 3) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее углу атаки  $50^\circ$ , высоте лопасти 750 мм:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 3,602.$$

При  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее углу атаки  $100^\circ$ , высоте лопасти 250 мм:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 0,12.$$



**Рисунок 4.** Зависимость изменения мощности ветровой установки

от угла атаки  $x_1$  и проходного зазора  $x_3$

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_1, x_3) = 1,827 - 0,168x_1 + 0,362x_3 + 0,124x_1^2 + 0,065x_3^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

При  $x_1 = 0$  и  $x_3 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_1, x_3) \rightarrow 1,473.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_1 = -1$ ,  $x_3 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

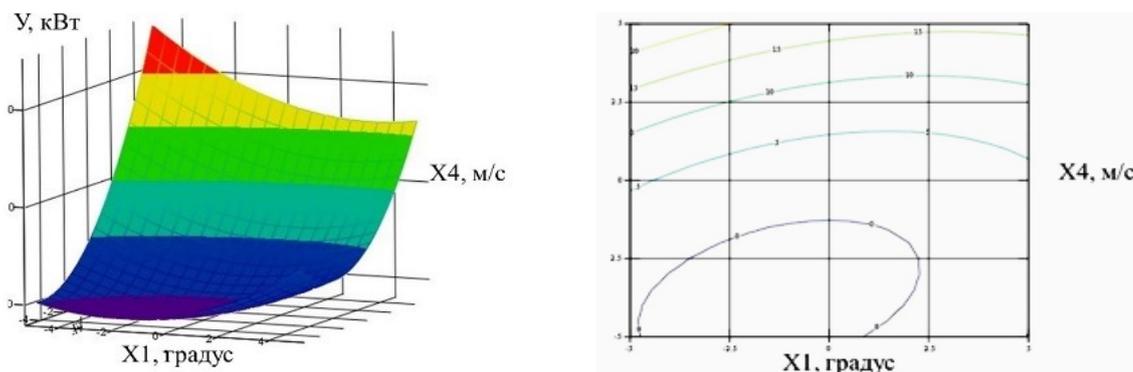
$$Y(x_1, x_3) \rightarrow 2,546.$$

Анализируя полученную (рис. 4) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_1 = -1$ ,  $x_3 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее углу атаки  $50^\circ$ , проходному зазору 400 мм:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 3,602.$$

При  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее углу атаки  $100^\circ$ , проходному зазору 400 мм:

$$Y(x_1, x_2) \rightarrow 0,12.$$



**Рисунок 5.** Зависимость мощности ветровой установки от угла атаки  $x_1$  и скорости ветра  $x_4$

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_1, x_4) = 1,827 - 0,168x_1 + 1,782x_4 - 0,13x_1 x_4 + 0,124x_1^2 + 0,263x_4^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

При  $x_1 = 0$  и  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_1, x_4) \rightarrow 0,305.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_1 = -1$ ,  $x_4 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

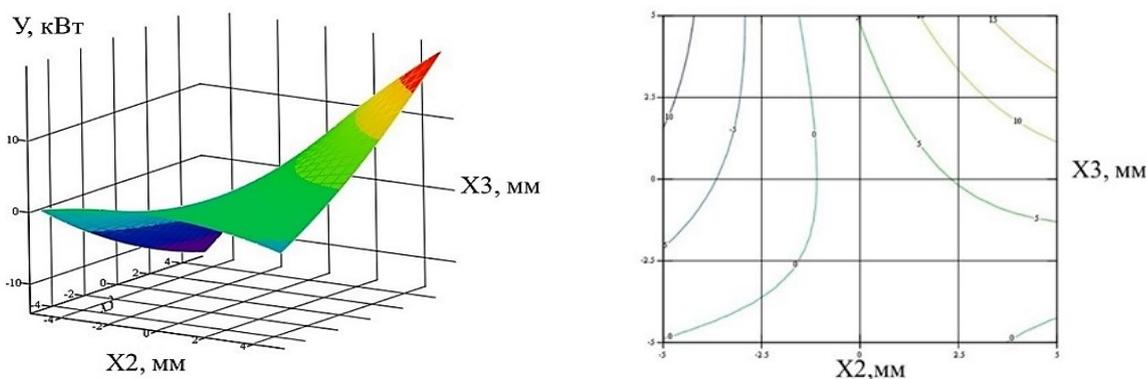
$$Y(x_1, x_4) \rightarrow 4,294.$$

Анализируя полученную (рис. 5) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_1 = -1$ ,  $x_4 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее углу атаки  $50^\circ$ , скорости ветра  $15\text{ м/с}$ :

$$Y(x_1, x_4) \rightarrow 4,294.$$

При  $x_1 = 0$ ,  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее углу атаки  $100^\circ$ , скорости ветра  $5\text{ м/с}$ :

$$Y(x_1, x_4) \rightarrow 0,305.$$



**Рисунок 6.** Зависимость мощности ветровой установки от высоты лопасти  $x_2$  и проходного зазора  $x_3$

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_2, x_3) = 1,827 + 1,566x_2 + 0,362x_3 + 0,34x_2 x_3 - 0,083x_2^2 + 0,065x_3^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

При  $x_2 = -1$  и  $x_3 = 0$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_2, x_3) \rightarrow 0,176.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

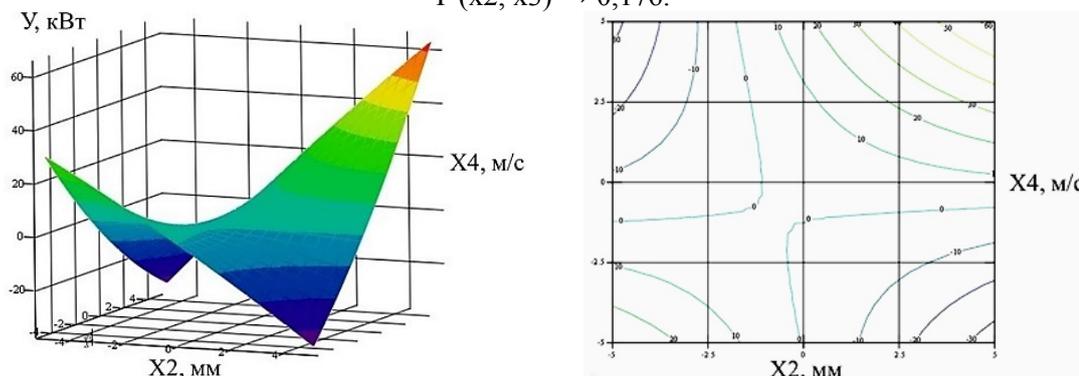
$$Y(x_2, x_3) \rightarrow 4,077.$$

Анализируя полученную (рис. 6) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее высоте лопасти  $750\text{ мм}$ , проходному зазору  $400\text{ мм}$ :

$$Y(x_2, x_3) \rightarrow 4,077.$$

При  $x_2 = -1$ ,  $x_3 = 0$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее высоте лопасти 250 мм, проходному зазору 300 мм:

$$Y(x_2, x_3) \rightarrow 0,176.$$



**Рисунок 7.** Зависимость мощности ветровой установки от высоты лопасти  $x_2$  и скорости ветра  $x_4$ .

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_2, x_4) = 1,827 + 1,566x_2 + 1,782x_4 + 1,61x_2 x_4 - 0,083x_2^2 + 0,263x_4^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

При  $x_2 = -1$  и  $x_4 = 0$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_2, x_4) \rightarrow 0,150.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_2 = 1$ ,  $x_4 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

$$Y(x_2, x_4) \rightarrow 6,965.$$

Анализируя полученную (рис. 7) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_2 = 1$ ,  $x_4 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее высоте лопасти 750 мм, скорости ветра 15 м/с:

$$Y(x_2, x_4) \rightarrow 6,965.$$

При  $x_2 = -1$ ,  $x_4 = 0$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее высоте лопасти 250 мм., скорости ветра 10 м/с:

$$Y(x_2, x_4) \rightarrow 0,150.$$

Уравнение регрессии принимает вид

$$Y(x_3, x_4) = 1,827 + 0,362x_3 + 1,782x_4 - 0,495x_3 x_4 + 0,065x_3^2 + 0,263x_4^2.$$

*Поиск минимального значения функции*

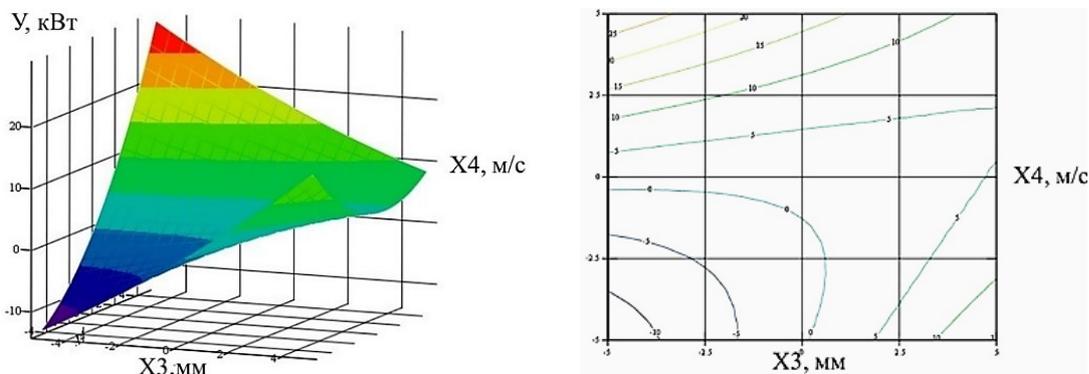
При  $x_3 = -1$  и  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_3, x_4) \rightarrow -0,484.$$

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_3 = -1$ ,  $x_4 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

$$Y(x_3, x_4) \rightarrow 4,07.$$



**Рисунок 8.** Зависимость мощности ветровой установки от проходного зазора  $x_3$  и скорости ветра  $x_4$

Анализируя полученную (рис. 8) зависимость мощности ветроустановки от факторов, можно отметить, что характер поверхности отклика фактора достигает максимального значения при  $x_3 = -1$ ,  $x_4 = 1$ . В кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, соответствующее проходному зазору 200 мм, скорости ветра 15 м/с:

$$Y(x_3, x_4) \rightarrow 4,07.$$

При  $x_3 = -1$ ,  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, соответствующее проходному зазору 200 мм, скорости ветра 5 м/с:

$$Y(x_3, x_4) \rightarrow -0,484.$$

Анализируя полученную зависимость

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) = 1,827 - 0,168x_1 + 1,566x_2 + 0,362x_3 + 1,782x_4 - 0,13x_1 x_4 + 0,34x_2 x_3 + 1,61x_2 x_4 - 0,495x_3 x_4 + 0,124x_1 x_2 - 0,083x_2^2 + 0,065x_3^2 + 0,263x_4^2,$$

провели поиск максимального и минимального значения функции для определения оптимального значения конструктивно-технологических параметров.

*Поиск минимального значения функции*

При  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = -1$ ,  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow -0,951.$$

При  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = -1$ ,  $x_4 = -1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает минимальное значение, что соответствует углу атаки  $150^\circ$ , высоте лопасти 750 мм, проходному сечению 200 мм и скорости ветра 5 м/с.

*Поиск максимального значения функции*

При  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$ ,  $x_4 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение:

$$Y(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow 7,659.$$

При  $x_1 = -1$ ,  $x_2 = 1$ ,  $x_3 = 1$ ,  $x_4 = 1$  в кодированном варианте функция  $Y$  принимает максимальное значение, что соответствует углу атаки  $50^\circ$ , высоте лопасти 750 мм, проходному

сечению 400 мм и скорости ветра 15 м/с.

На основании анализа полученных данных при использовании компьютерной программы «MathCAD11» получены значения в кодированном варианте.

$$U_{\max} = \begin{vmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 5^0 \\ 750 \\ 400 \\ 15 \end{vmatrix} \quad U_{\min} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 10^0 \\ 750 \\ 200 \\ 5 \end{vmatrix}$$

По результатам обработки математической модели получили оптимальные значения факторов при угле атаки  $100^\circ$ е высоты лопасти 750 мм, проходном зазоре 200 мм и скорости ветра 5 м/с.

Максимальное значение критерия отклика –  $\max = 7,66$  кВт·ч, минимальное значение –  $\min = 0,951$  кВт·ч.

$$\text{Коэффициент использования энергии ветра КИЭВ} = \frac{N_{\text{взу}}}{N_{\text{расч}}} = \frac{7,66}{29,03} = 0,26.$$

*Заключение.* Задачей экспериментальных исследований было определить оптимальные конструктивно-режимные параметры вертикально-осевой ветровой установки для зарядки электротранспорта на основе альтернативных источников энергии. Для проведения эксперимента была разработана методика исследования. Определены параметры, влияющие на производительность ветровой установки. Выбран некомпозиционный 4-факторный план Бокса-Бенкина.

По результатам обработки математической модели получено уравнение регрессии, описывающее процесс работы ветровой установки, по которому были построены поверхности отклика факторов (угла атаки лопасти, высоты лопасти, проходного зазора и скорости ветра) от критерия отклика (мощности ветровой установки). Проведен анализ полученных графиков.

Таким образом, проведённый эксперимент, адекватность полученного уравнения регрессии подтвердили работоспособность выбранных конструктивно-режимных параметров вертикально-осевой ветровой установки.

Определены оптимальные конструктивно-режимные параметры вертикально-осевой ветровой установки: угол атаки  $100^\circ$ , высота лопасти 750 мм, проходной зазор 200 мм и скорость ветра 5 м/с.

Коэффициент использования энергии ветра КИЭВ составил 0,26. Для повышения КИЭВ необходимо ветровую установку изготовить двухуровневой.

#### Список литературы

1. Показатели «зеленой экономики» Республики Казахстан / Комитет статистики Министерства национальной экономики Республики Казахстан. – URL: [http://stat.gov.kz/faces/wcnav\\_externalId/homeNumbersEnvironment?\\_adf.ctrl-state=3ydp6ee22\\_39&\\_afzLoop=10060315816047045#%40%3F\\_afzLoop%3D10060315816047045%26\\_adf.ctrl-state%3D1a61k9zopr\\_25](http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/homeNumbersEnvironment?_adf.ctrl-state=3ydp6ee22_39&_afzLoop=10060315816047045#%40%3F_afzLoop%3D10060315816047045%26_adf.ctrl-state%3D1a61k9zopr_25) (дата обращения: 04.12.2022).
2. Прогнозная схема территориально-пространственного развития страны до 2020 года / Официальный интернет-ресурс. Министерство национальной экономики Республики Казахстан. – URL: [http://economy.gov.kz/ru/ministerstvo/detail.php?ELEMENT\\_ID=63271&sphrase\\_id=18746736](http://economy.gov.kz/ru/ministerstvo/detail.php?ELEMENT_ID=63271&sphrase_id=18746736) (дата обращения: 17.05.2022).
3. Комитет по регулированию естественных монополий и защите конкуренции предоставил Экибастузской ГРЭС-2 скидку на тариф по передаче экспортируемой электроэнергии / Официальный интернет-ресурс. Министерство национальной экономики Республики Казахстан. – URL: [http://economy.gov.kz/ru/press-sluzhba/detail.php?ELEMENT\\_ID=69335&sphrase\\_id=18746641](http://economy.gov.kz/ru/press-sluzhba/detail.php?ELEMENT_ID=69335&sphrase_id=18746641) (дата обращения: 17.05.2022).

4. Оперативные данные (экспресс информация, бюллетени) > Промышленность. Производство продукции в секции электроснабжение, подача газа, пара и воздушное кондиционирование в разрезе регионов в натуральном выражении / Комитет статистики Министерства национальной экономики Республики Казахстан. – URL: Аналитические обзор <https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2022> (дата обращения 13.12.2022).
5. Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». – Астана, 2013 г.
6. Рыспаева М.К., Рыспаев К.С., Хасенов У.Б., Баймухамедов М.Ф., Джаманбалин К.К., «Вертикальный ветродвигатель». – №31167; 16.05.2016; бюл. № 5, РК.
7. Рыспаев К.С. Формирование электротехнических комплексов на основе альтернативных источников энергии в Республике Казахстан: Монография. – Костанай, КСТУ, 2017. – 232 с. – ISBN 978-601-7125-84-4.
8. Шаймурунов С.Ж., Рыспаев К.С. Станции зарядки электромобилей на основе альтернативных источников энергии: Монография. – Костанай, НАО КРУ им. А. Байтурсынова, 2021. – 108 с. – ISBN 978-601-356-099-1.
9. Рыспаев К.С. Методы научных исследований: Учеб. Пособие. – Костанай, НАО КРУ имени А. Байтурсынова, 2022. – 65 с. – ISBN 978-601-356-000-0.
10. ГОСТ 8.011–72 Показатели точности измерений и формы представлений результатов измерений [Электронный ресурс]. – URL: <http://sdb.su/obsheobr/metrologiya> (дата обращения: 06.04.2022).
11. ГОСТ Р 54418.2–2014 Возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, установки ветроэнергетические. Издание официальное. Международный стандартный книжный номер. Технические требования к малым ветроэнергетическим установкам. – М.: Стандартинформ, 2015. – 66 с.
12. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304 с.
13. Шаймурунов С.Ж., Рыспаев К.С. Ветрогенератор-рекуператор с вертикальной осью вращения: Патент РК на изобретение. – № 36035; опублик. 30.12.2022; бюл. № 52. г. Астана.
14. Zhang, B., Meng, L., Zhao, L., Xiangpei, H. (2021). Evaluation of the multi-dimensional growth potential of China's public charging facilities for electric vehicles through. *Utilities Policy*, 75, 101344.
15. Behjat, V. Dynamic modeling and performance evaluation of axial flux PMSG based wind turbine system with MPPT control / V. Behjat, M. Hamrahi // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2014. – 5: 1157-1166.
16. Williamson, S. S. (2022). The success of electric mobility will depend on power electronics // *Nature Electronics*. – 5. – P. 4-15.
17. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation / V.A. Alekseenko, Y.I. Gevora, D.A. Sidelnikov, A.A. Pluzhnikova // 19th International Scientific Conference: Engineering for rural development Proceedings. – 2020. – V. 19. – P. 860-866.
18. Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century // REN21. – URL: [www.ren21.net](http://www.ren21.net) (дата обращения: 06.02.2021 г.).

#### References

1. Pokazateli «zelenoj ekonomiki» Respubliki Kazahstan / Komitet statistiki Ministerstva nacional'noj ekonomiki Respubliki Kazahstan. – URL: [http://stat.gov.kz/faces/wcnav\\_externalId/homeNumbers-Environment?\\_adf.ctrl-state=3ydp6ee22\\_39&\\_afLoop=10060315816047045#%40%3F\\_afLoop%3D10060315816047045%26\\_adf.ctrl-state%3D1a61k9zopr\\_25](http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/homeNumbers-Environment?_adf.ctrl-state=3ydp6ee22_39&_afLoop=10060315816047045#%40%3F_afLoop%3D10060315816047045%26_adf.ctrl-state%3D1a61k9zopr_25) (data obrashcheniya: 04.12.2022).
2. Prognoznaya skhema territorial'no-prostranstvennogo razvitiya strany do 2020 goda // Oficial'nyj internet-resurs. Ministerstvo nacional'noj ekonomiki Respubliki Kazahstan. –URL:[http://economy.gov.kz/ru/ministerstvo/detail.php?ELEMENT\\_ID=63271&sphrase\\_id=18746736](http://economy.gov.kz/ru/ministerstvo/detail.php?ELEMENT_ID=63271&sphrase_id=18746736) (data obrashcheniya: 17.05.2022).
3. Komitet po regulirovaniyu estestvennyh monopolij i zashchite konkurencii predostavil Ekibastuzskoj GRES-2 skidku na tarif po peredache eksportiruemoj elektroenergii / Oficial'nyj internet-resurs. Ministerstvo nacional'noj ekonomiki Respubliki Kazahstan. – URL: [http://economy.gov.kz/ru/press-sluzhba/detail.php?ELEMENT\\_ID=69335&sphrase\\_id=18746641](http://economy.gov.kz/ru/press-sluzhba/detail.php?ELEMENT_ID=69335&sphrase_id=18746641) (data obrashcheniya: 17.05.2022).
4. Operativnye dannye (ekspress informaciya, byulleteni) > Promyshlennost'. Proizvodstvo produkci v sekcii elektrosnabzhenie, podacha gaza, para i vozdushnoe kondicionirovanie v razreze regionov v natural'nom vyrazhenii / Komitet statistiki Ministerstva nacional'noj ekonomiki Respubliki Kazahstan. – URL: Analiticheskie obzor <https://www.samruk-energy.kz/ru/press-center/analytical-review#2022> (data obrashcheniya 13.12.2022).

5. Konceptiya po perekhodu Respubliki Kazahstan k «zelenoj ekonomike». – Astana, 2013 g.
  6. Ryspaeva M.K., Ryspaev K.S., Hasenov U.B., Bajmuhamedov M.F., Dzhamanbalin K.K., «Vertikal'nyj vetrodvigatel'». – №31167; 16.05.2016; byul. № 5, RK.
  7. Ryspaev K.S. Formirovanie elektrotekhnicheskikh kompleksov na osnove al'ternativnykh istochnikov energii v Respublike Kazahstan: Monografiya. – Kostanaj: KSTU, 2017. – 232 s. – ISBN 978-601-7125-84-4.
  8. SHajmurunov S.ZH., Ryspaev K.S. Stancii zaryadki elektromobilej na osnove al'ternativnykh istochnikov energii: Monografiya. – Kostanaj: NAO KRU im. A. Bajtursynova, 2021. – 108 s. – ISBN 978-601-356-099-1.
  9. Ryspaev K.S. Metody nauchnyh issledovanij: Uchebnoe posobie – Kostanaj: NAO KRU imeni A. Bajtursynova, 2022. – 65 s. – ISBN 978-601-356-000-0.
  10. GOST 8.011–72 Pokazateli tochnosti izmerenij i formy predstavlenij rezul'tatov izmerenij [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://sdb.su/obsheobr/metrologiya> (data obrashcheniya: 06.04.2022).
  11. GOST R 54418.2–2014 Vozobnovlyaemaya energetika, vetroenergetika, ustanovki vetroenergeticheskie. Izdanie oficial'noe. Mezhdunarodnyj standartnyj knizhnyj nomer. Tekhnicheskie trebovaniya k malym vetroenergeticheskim ustanovkam. – M.: Standartinform, 2015. – 66 s.
  12. Novik F.S., Arsov YA.B. Optimizaciya processov tekhnologii metallov metodami planirovaniya eksperimentov. – M.: Mashinostroenie; Sofiya: Tekhnika, 1980. – 304s.
  13. SHajmurunov S.ZH., Ryspaev K.S. Vetrogenerator-rekuperator s vertikal'noj os'yu vrashcheniya: Patent RK na izobretenie. – №36035; opubl. 30.12. 2022; byul. №52. g. Astana.
  14. Zhang, B., Meng, I., Zhao, I., Xiangpei, H. (2021). Evaluation of the multi-dimensional growth potential of China's public charging facilities for electric vehicles through. *Utilities Policy*, 75, 101344.
  15. Behjat, V. Dynamic modeling and performance evaluation of axial flux PMSG based wind turbine system with MPPT control / V. Behjat, M. Hamrahi // *Ain Shams Engineering Journal*. – 2014. – 5: 1157-1166.
  16. Williamson, S. S. (2022). The success of electric mobility will depend on power electronics // *Nature Electronics*. – 5. – P. 14-15.
  17. Determination of energy characteristics of two-rotor wind power installation / V. A. Alekseenko, Y. I. Gevora, D. A. Sidelnikov, A. A. Pluzhnikova // 19th International Scientific Conference: Engineering for rural development Proceedings. – 2020. – V. 19. – P. 860-866.
  18. Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century // REN21. – URL: [www.ren21.net](http://www.ren21.net) (data obrashcheniya: 06.02.2021 g.).
- 
-