

УДК. 621.548: 621.865

DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-442-448

К.А. Абжапаров<sup>1</sup>, А.Р. Жиенгали<sup>1</sup>, Г.С. Баяндина<sup>1</sup>, К.М. Сансызбай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан

E-mail: k.sansizbay@alt.edu.kz

## ВЕТРОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

**Аннотация.** В статье исследуется новый шести подвижный параллельный манипулятор платформенного типа для ветра энергетическая установка (ВЭУ). Рассматриваемый параллельный манипулятор обладает преимуществом по сравнению с существующими платформенными роботами, обладающими шестью степенями свободы. Эти преимущества подтверждены на действующей модели, а также аналитическим решением прямой задачи кинематики.

Благодаря своим уникальным свойствам новый платформенный робот можно использовать для ветровой электростанции, который имеет возможность генерировать электрический ток при малых скоростях ветра.

**Ключевые слова.** Ветровая электростанция, тороидальный парус, динамическая модель, параллельный манипулятор, пространственный демпфер, система управления.

### Введение.

Параллельная структура первоначально использовалась в машине Гофа для испытания шин самолета [1] и в машине Стюарта в качестве имитатора полета [2]. SaPaMan (Параллельный манипулятор Cassino) – это пространственный параллельный манипулятор с 3 степенями свободы, который был задуман и создан в Лаборатории робототехники и мехатроники (LARM) в Кассино, Италия [3] и [4].

В настоящее время в различных областях используются несколько параллельных архитектур манипуляторов. Эти манипуляторы имеют структурную топологию, аналогичную платформе Гофа-Стюарта [5-6]. Однако большинство параллельных манипуляторов, имеющих более 3 степеней свободы, имеют переменные координаты подвижной платформы, которые связаны друг с другом так, что движение привода требует одновременной координации с другими приводами.

В Казахстане поставлена задача: начиная с 2018 г., увеличить долю альтернативной энергетики до 30% к 2030 г. В этой доле альтернативной энергетики существенное место отводится ветроэнергетике. Ветроэнергетика играет роль не только «зеленой энергетики», но и выполняет задачу снабжения электроэнергией территорий не охваченных линиями электропередач, а также, например, заставы погранвойск, расположенные на границе в отдаленных труднодоступных местах.

В этой статье мы предлагаем новую парусную ветровую электростанцию составленной из параллельного манипулятора Sholkor, которая направлена на применение в военной отрасли. Обычно места, где происходят боевые действия имеют разрушенную инфраструктуру (отсутствие электрических сетей). Вместе с тем современное вооружение и военная техника нуждаются в источниках электрической энергии. В мирное время также имеется необходимость в электростанциях для обеспечения электроэнергией отдаленные заставы и блок посты. В этой связи в военной области внедрение возобновляемой энергетики в виде ветроэлектростанций является насущной необходимостью модернизации вооружения и военной техники.

Если исходит из потребности общества, то ограниченность запасов минерального сырья, а также вредное влияние на окружающую среду отходов от сгорания топлива при производстве тепловой и электрической энергии являются глобальными проблемами, одним из решения которых является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эти ветровые турбинные электростанции делятся на горизонтальной и вертикальной ориентацией оси турбины [6]. Причем наибольшее применение нашли ВЭУ с горизонтальной ориентацией оси турбины, лопасти ротора этих турбин движутся под действием подъёмных сил ветра [7]. При этом коэффициент использования энергии ветра не превосходит коэффициента Бетца равного 0.593 практически менее 0.3. Независимое от изменения направления ветра функционирование отличает турбинные ВЭУ с вертикальной ориентацией оси турбины. Известные ученые Казахстана [8-9] создали различные ветроустановки с вертикальной осью вращения. В этих ВЭУ турбины работают за счет сил сопротивления воздушному потоку [10].

Чтобы повысить коэффициент использования энергии ветра вместо вращающихся лопастей турбин предлагаются парусные ветроэлектростанций, например, с прямоугольной конструкцией паруса и вертикальным валом вращения [11]. Эта конструкция подобна ветроустановки с вертикальной осью турбины. Наиболее близкой к проекту является парусная ВЭУ, разработанная фирмой Saphon Energy из Туниса, принципиально отличающаяся тем, что не имеет вращающейся турбины [12]. Авторами доказано, что эта парусная ВЭУ имеет КПД более чем в два раза превышающий турбинные, а также дешевле по стоимости из-за отсутствия таких дорогостоящих деталей и устройств, как лопасти, мачты, редукторы. Однако в этой ВЭУ все движущие устройства, обеспечивающие работу ВЭУ, располагаются на мачте что создает нежелательные динамические нагрузки, вызывающие колебания мачты и дополнительные нагрузки на устройствах и их соединениях. Эта парусная ВЭУ, как и все указанные выше ВЭУ уязвима к ураганам порывам ветра, которые периодически наблюдаются на территории Казахстана, кроме того эта парусная ВЭУ, как и все другие не имеет возможности изменять парусность и адаптироваться к воздействиям воздушной массы.

## **Материалы и методы.**

### *1. Описание устройства ВЭУ.*

На рисунке 1 показана схема шести подвижный манипуляторный преобразователь, составленный из параллельного манипулятора Sholkor [13]. Здесь парус 13 соединен тремя распорными стержнями 12 с верхней платформой манипулятора. Эта конструкция образует рабочий орган ВЭС. Рабочий орган вместе с манипулятором далее называется преобразователем манипулятора (ПМ). Верхняя платформа 2 манипулятора соединена с нижней неподвижной платформой 1 с шести актуаторов 3-8. На рисунке также показана тороидальная форма паруса и сечение с аэродинамическим профилем Q. К сечению приведены результирующая сила  $R$  распределенных аэродинамических сил, которая представлены в виде 2-составляющих: подъёмной силы  $F_1$  и силы сопротивления  $F_2$ , которые одновременно действуют на парус. В том случае, когда угол атаки скорости  $F_{20}$  ветра превышает  $\beta_M$ , поток воздуха срывается и проходит через внутреннее отверстие тора радиуса  $r$ . Угол отклонения паруса от вертикального положения  $A_M=1.2\beta_M$ , т.к. парус продолжает движение по инерции.

В результате уменьшается воздействие воздушного потока и рабочего органа возвращался в исходное положение под действием демпфирующих сил. С помощью действующей демонстрационной модели установлено, что при качении паруса генераторы вырабатывают электрический ток.

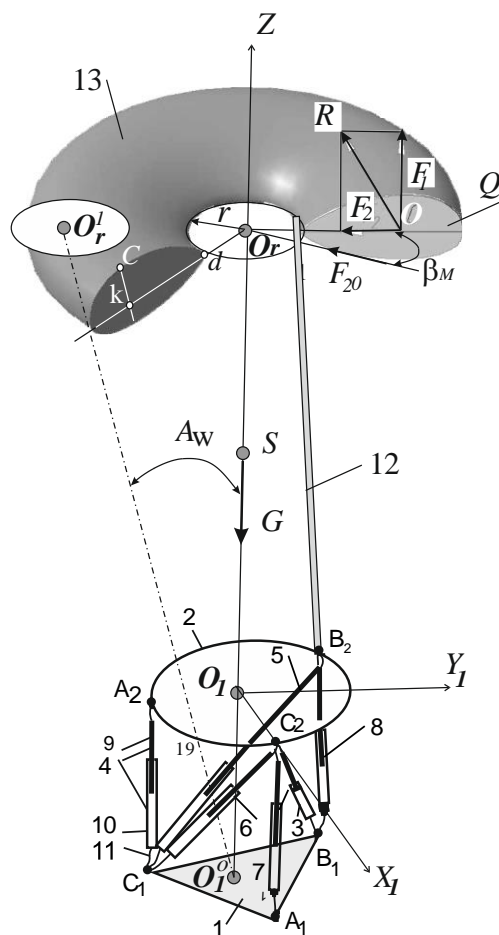


Рисунок 1 – Демонстрационная модель ВЭС

2. Обоснование выбора кинематической схемы.

В начале, рассмотрим преобразование координаты  $C_1X_6Y_6Z_6$ , связанный соединительным звеном 6 в базовую систему координат  $C_1X_1Y_1Z_1$ . Это преобразование, как показано на рисунке 2 реализуется рядом последовательных движений системы  $C_1X_1Y_1Z_1$  до полного совпадения с системой координат  $C_1X_6Y_6Z_6$ . Первым движением при преобразовании будет поворот системы  $O_1X_1Y_1Z_1$  на угол  $\theta_6$  вокруг оси  $C_1Z_1$  до того, пока ось  $C_1X_1$  расположится перпендикулярно к оси  $C_1Z_6$  ( $\beta = \pi/2$ ). Новое положение оси  $C_1X_1$  обозначено  $C_1X$ . Поверхность  $C_2A_1C_1$  (боковая гранью  $A_1C_1A_2C_2$  призмы на рисунке 2 образует с плоскостью  $C_1X_1Y_1$  основания двухгранный угол  $\angle C$ .

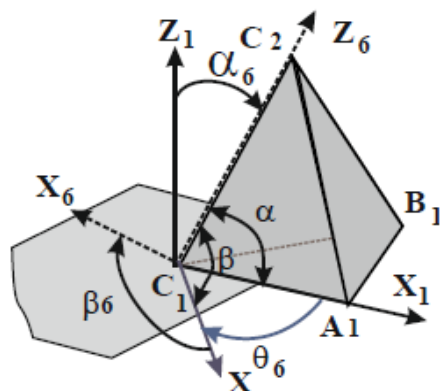


Рисунок 2 – Основная пирамида определяется звеньями 6, 7 и 3

### Результаты и обсуждение.

На основе полученных зависимостей составлена программа в Matlab, которая визуально демонстрирует пространственные положения верхней платформы параллельного манипулятора [15-16].

Исходными данными для расчетов являются геометрические размеры платформы в начальном положении, а именно: длина стороны правильного треугольника  $A_2B_2C_2$   $a=175\text{мм.}$ ; кратчайшие расстояния  $C_1A_2= B_1B_2= A_1C_2=60\text{мм.}$ ; количество положений  $N=5$ .

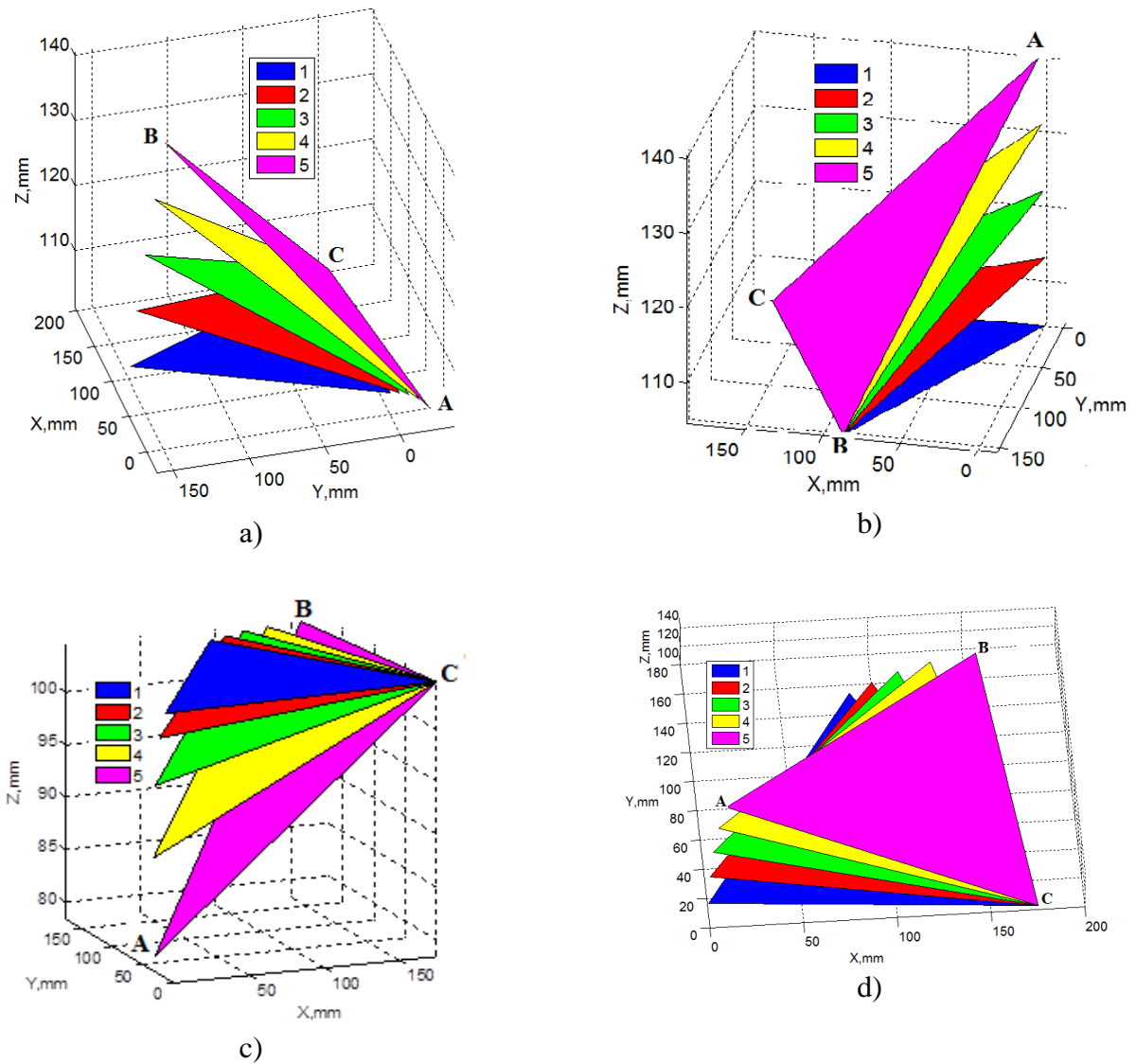


Рисунок 3 – Графики визуализации движения платформы

Для мониторинга комплекса ветряных электростанций предлагается разработать SCADA систему для отображения работы комплекса. На рисунке 4 показана состояние одной ветряной электростанции в нормальном состоянии работы.

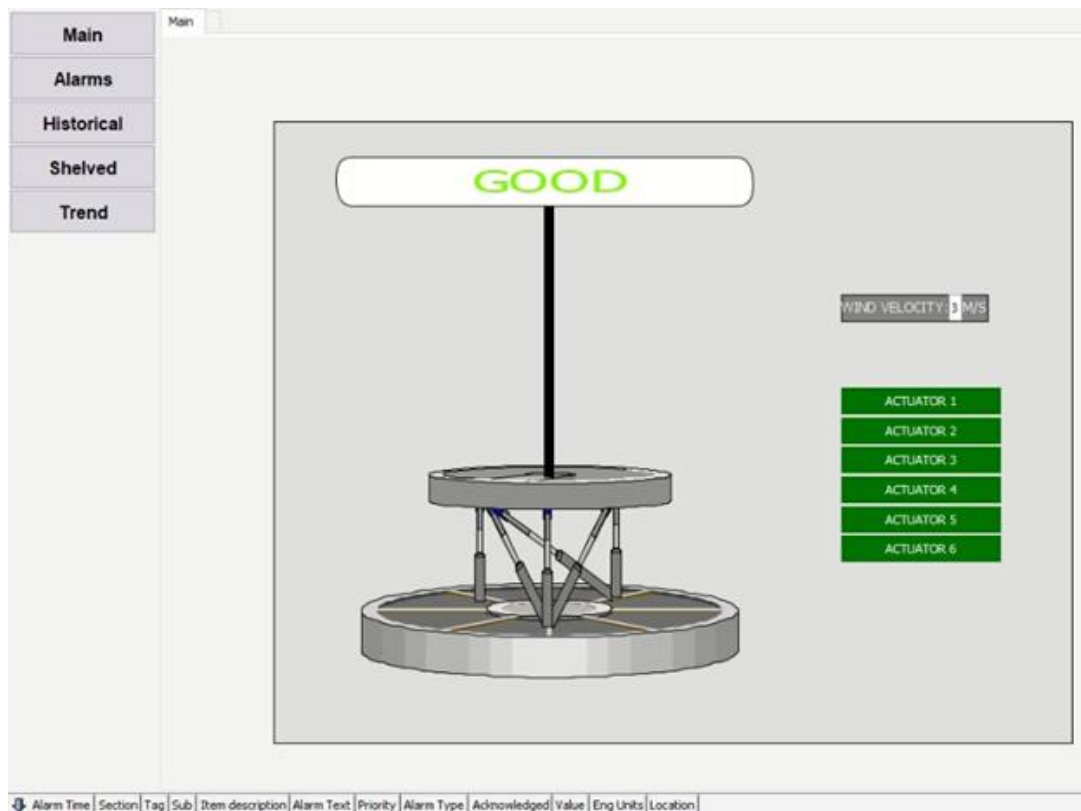


Рисунок 4 – Нормальное состояние работы ветряной электростанции

На рисунке 5 показано увеличение скорости ветра, аварийное состояние работы ветряной электростанции реакция системы на демпфирование нагрузки.

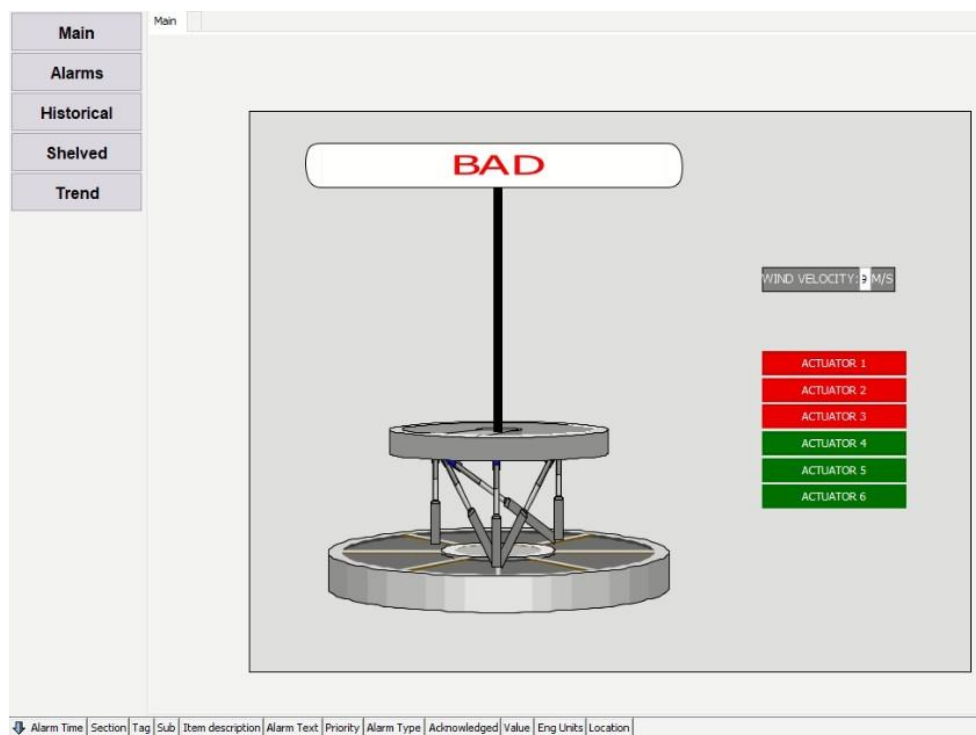


Рисунок 5 – Аварийное состояние работы ветряной электростанции

Данная система помогает отслеживать состояния работы электростанции на исторических трендах, что облегчит обучение адаптивной системы реагировать на изменение внешних воздействий. Предполагается, что 5 аварийных событий будет достаточно для полного обучения системы реагировать на внешние возмущения.

### **Заключение.**

В статье построена кинематическая схема и модель новой ветроэнергетической установки. Обусловлены методы определения положения параллельного манипулятора при управления парусной электростанции. Выполнено компьютерное моделирование при разном перемещении платформы манипулятора. Для мониторинга комплекса ветряных электростанций разработана SCADA система для отображения работы комплекса. Описан действующий демонстрационный образец парусной ВЭС.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Lu, N., Ye, Y.: Type synthesis of parallel mechanism by using sub-mechanisms and digital topological graphs. *Mech. Mach. Theory.* 109, 39–50 (2017).
- [2] K. S. Sholanov, *Parallel Manipulators of Robots: Theory and Applications*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2021. Volume 92. ISBN: 978-3-030-56072-0. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-56073-7#affiliations>
- [3] Hsu-Chih Huang and Yu-Xiang Chen., *Evolutionary Optimization of Fuzzy Reinforcement Learning and Its Application to Time-Varying Tracking Control of Industrial Parallel Robotic Manipulators*, *Journal: IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2023, Volume 19, Number 12, Page 11712 DOI: 10.1109/TII.2023.3248120. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10054004>
- [4] Z. Xin, Z. Yanwei, Y. Leping and Z. Chengming, "A guidance method for coplanar orbital interception based on reinforcement learning", *J. Syst. Eng. Electron.*, vol. 32, no. 4, pp. 927-938, 2021.
- [5] N. Brinker, N. Funk, P. Ingenlath, Y. Takeda and B. Corves, "Comparative study of serial-parallel delta robots with full orientation capabilities", *IEEE Robot. Automat. Lett.*, vol. 2, no. 2, pp. 920-926, Apr. 2017.
- [6] G. Liu, "Optimal kinematic design of a 6-UCU kind Gough-Stewart platform with a guaranteed given accuracy", *Robotics*, vol. 7, no. 30, pp. 1-10, 2018. <https://www.mdpi.com/2218-6581/7/2/30>
- [7] K.S. Sholanov, K.A. Abzhaparov, Zh.T. Zhumasheva, M. Ceccarelli, A new parallel manipulator hydraulically actuated. *International Journal of Mechanics and Control*, Vol. 17, No. 01, 2016 pp. 49-57
- [8] Kuanysh Abzhaparov, Korganbay Sholanov, Berik Mirzabaev. Justifying and choosing parameters of the wind power installation with an automatically controlled sailing working body. *Journal: EAI Endorsed Transactions on Energy Web*. Vol.19, No.21, 2019, e6, ISSN: 1615-5548.
- [9] K.A. Abzhaparov, K.S. Sholanov, Kabanbayev A. Study and Selection of Parameters of Automatically Controlled Wind Power Station with Swaying Sails. *International journal of renewable energy research*. Vol.10, No.2, June, 2020. pp.768-779, ISSN: 1309-0127.

**Куаныш Абжапаров**, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, [k.abzhaparov@satbayev.university](mailto:k.abzhaparov@satbayev.university)

**Әділхан Жиенғали**, докторант, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, [zhiengali.a@gmail.com](mailto:zhiengali.a@gmail.com)



**Гульмира Бяндина**, магистр, аға оқытушы, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, g.bayandina@satbayev.university

**Қанибек Сансызбай**, PhD, қауымдастырылған профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан, k.sansizbay@alt.edu.kz

## ПАРАЛЛЕЛЬДІ МАНИПУЛЯТОР НЕГІЗІНДЕГІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫ

**Аңдатпа.** Мақалада жаңа алты қозғалатын параллельді платформа типті манипулятор қарастырылады. Бұл роботтың алты еркіндік дәрежесі бар платформалық роботтармен салыстырғандағы артықшылықтары келтірілген. Бұл артықшылықтар ағымдағы модельде, сондай-ақ тікелей кинематика мәселесінің аналитикалық шешімімен расталады.

Бірегей қасиеттерінің арқасында платформалық роботты желдің төмен жылдамдығында электр тогын шығару мүмкіндігі бар желкенді жел электр станциясы ретінде пайдалануға болады.

**Түйінді сөздер.** Жел электр станциясы, тороидты желкен, динамикалық модель, параллель манипулятор, кеңістіктік демпфер, басқару жүйесі.

**Kuanysh Abzhaparov**, PhD, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, k.abzhaparov@satbayev.university

**Adilkhan Zhiengali**, doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, zhiengali.a@gmail.com

**Gulmira Bayandina**, master, senior-lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, g.bayandina@satbayev.university

**Kanibek Sansyzbay**, PhD, associate professor, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan, k.sansizbay@alt.edu.kz

## WIND POWER PLANT BASED ON PARALLEL MANIPULATOR

**Abstract.** The article examines a new six-moving parallel platform-type manipulator. The advantages of this robot compared to existing platform robots with six degrees of freedom are listed. These advantages are confirmed on the current model, as well as by an analytical solution to the direct kinematics problem.

Due to its unique properties, the platform robot can be used as a sailing wind power plant, which has the ability to generate electric current at low wind speeds.

**Keywords.** Wind power station, dynamical model, toroidal sail, parallel manipulator, spatial damper, control system.

\*\*\*\*\*