

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2022)

---

**ПАВЛОДАР**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано  
Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/KWJR9225>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,342**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

**\*А. А. Джомартов<sup>1</sup>, А. К. Тулешов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Институт механики и машиноведения имени академика

У. А. Джолдасбекова, Республика Казахстан, г. Алматы

## **ТРОСОВЫЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ РОБОТ**

*В работе представлены основные подходы разработки тросового параллельного робота на базе научных исследований Института механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова. Изготовлен прототип подвешенного точечного тросового параллельного робота (ТПР), который состоит из неподвижной прямоугольной рамы, четырех лебедок, четырех гибридных шаговых двигателей с драйверами и четырех тросов. Прототип ТПР оснащен 4 датчиками силы, для экспериментального определения силы натяжения тросов. Датчики силы подключены к измерительной тензометрической системе ZET 058.*

*Разработан графический интерфейс управления прототипом ТПР для воспроизведения концевым эффектором кривых (круг, эллипс и т.д.). Прототип ТПР имеет возможность ручного управления поступательным движением концевой эффектором: вперед-назад, влево-вправо, вверх-вниз. Данный прототип ТПР используется в институте для проведения научно-исследовательских работ магистрантами и докторантами и для проведения практических семинаров для студентов. Проведение студентами лабораторных работ, с использованием прототипа подвешенного точечного ТПР, дало эффект лучшего понимания структуры и работы ТПР. Стоит отметить, что студенты, после практической работы на прототипе ТПР, быстрее усвоили методы кинематического, статического и динамического анализа и управления ТПР. Кроме этого, у студентов появился интерес к усовершенствованию и созданию принципиально новых ТПР.*

*Ключевые слова: анализ, разработка, трос, подвесной, робот.*

### **Введение**

Эволюция робототехнических систем за последние годы закономерно привела к отказу от слепого копирования биологических принципов организации движения верхних и нижних конечностей: вместо «антропоморфных» роботов появился новый класс роботов с «параллельной кинематикой», основанных на использовании преимуществ замкнутых кинематических цепей. Роботы с открытой кинематической структурой обладают низкой грузоподъемностью, малой жесткостью и низкой точностью позиционирования при существенно увеличенном диапазоне скоростей и нагрузок. Как правило, роботы используются в качестве вспомогательного оборудования и не должны ограничивать производительность обслуживаемого технологического оборудования. Поскольку робот работает не на

установившихся переходных режимах, а на управляемых переходных режимах, основная мощность двигателей тратится на интенсивный разгон и торможение, что обуславливает низкий КПД в кинематических схемах открытого типа.

В настоящий момент в мире широко используется роботы параллельной структуры, которые обладают повышенными технико-эксплуатационными показателями. Роботы параллельной структуры имеют рабочее звено, которое имеет связь с основанием посредством нескольких кинематических цепей, которые имеют несколько приводов или просто налагает связи на его движение. Роботы параллельной структуры в отличие от обычных роботов с открытой структурой, содержат замкнутые кинематические цепи и работают как пространственные фермы, что соответственно это повышает точность, быстродействие и грузоподъемность. Типичным представителем робота параллельной структуры с жесткими звеньями является параллельный робот Стюарта (рисунок 1, а) с 6 степенями подвижности.

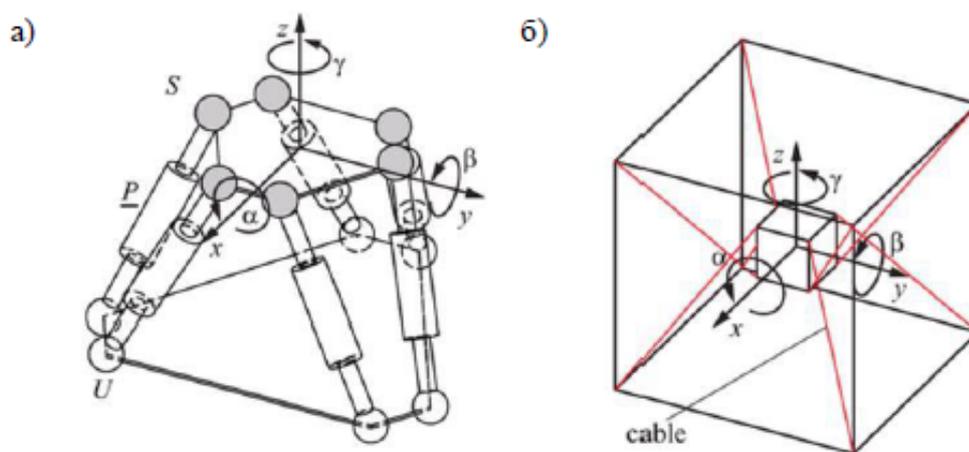


Рисунок 1 – Роботы параллельной структуры: а) параллельный робот Стюарта; б) тросовый параллельный робот

Сегодня появился новый вид параллельного робота это тросовый параллельный робот. Для расширения зоны обслуживания параллельных роботов их жесткие звенья заменяют гибкими (тросами) звеньями и в результате получают тросовые параллельные роботы (рисунок 1, б). Роботы параллельной структуры с гибкими звеньями называют тросовыми параллельными роботами (ТПР). ТПР по сравнению с параллельными роботами с жесткой связью, имеют меньшие инерционные характеристики и высокую скорость и ускорение рабочего органа [1–5]. ТПР широко применяются для решения практических сложных задач из за его большой рабочей зоной обслуживания [1–5]. В тросовых параллельных роботах гибкие звенья могут работать только на растяжение, и теряют свою работоспособность при сжатии. Данная особенность сильно ограничивает разработку и применение тросовых параллельных роботов и требует ее учета при разработке новых ТПР.

### Материалы и методы

При разработке таких роботов особенно важной становится задача эскизного проектирования кинематической схемы робота и на первое место выступает задача многокритериальной оптимизации. Основными критериями качества являются: изотропность, толеранс на ошибки изготовления и упругие изменения длин звеньев, оптимальность передачи усилия, минимальность шарнирных реакций, жесткость.

На основе многокритериального синтеза разработаны кинематические схемы манипуляторов с замкнутыми кинематическими цепями и опорно-двигательных механизмов шагающих роботов, позволяющие достичь наиболее рационального сочетания механических и электронно-управляющих систем.

#### Результаты и обсуждения

Первый ТПП RoboCrane был разработан в 1989 году в Национальном институте стандартов и технологий (NIST, США), который отличается простотой и удобством обработки грузов в портах, строительстве мостов и других областях (рисунок 2) [6].

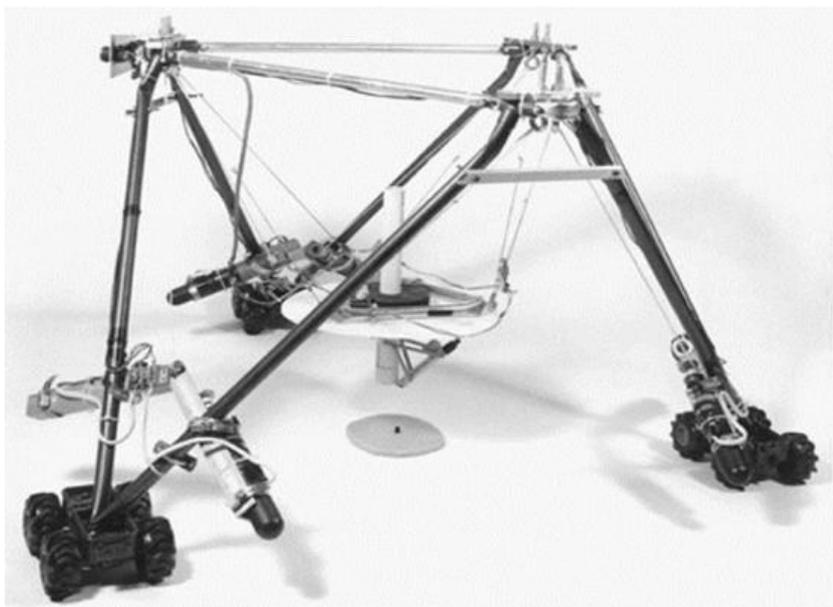


Рисунок 2 – Тросовый параллельный манипулятор RoboCrane

Для проведения видеосъемок на стадионах, в 1980 году был разработан ТПП SkyCam (рисунок 3) [7] с четырьмя тросами, с максимальной рабочей скоростью движения камеры 44,8 км/ч.



Рисунок 3 – Тросовый параллельный робот SkyCam

В работе [8] разработан ТПР (рисунок 4) для фенотипирования сельскохозяйственных культур, в частности кукурузного поля площадью один гектар.



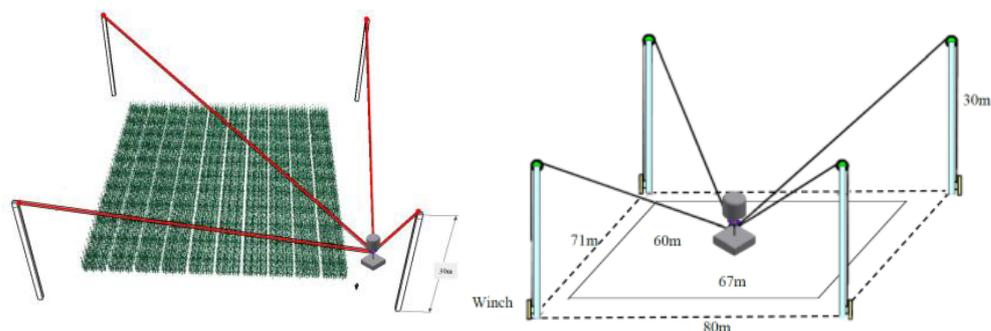


Рисунок 4 – ТПР для автоматизированного фенотипирования сельскохозяйственных культур

В работе [9] разработан реконфигурируемый ТПР с вышками на мобильной платформе с стабилизирующими лапами (рисунок 5). Данный ТПР имеет большую зону обслуживания и легкую, мобильную конструкцию и хорошо подходит для выполнения различных задач в сельском хозяйстве.



Рисунок 5 – Реконфигурируемый ТПР для сельскохозяйственных работ

Большое распространение ТПР получили в строительстве зданий. В работе [10] разработан ТПР SPIDERobot для автоматизированного строительства, (рисунок 6). Вращающийся рабочий орган может подбирать строительный материал, согласно алгоритму сборки здания, который приводится в движение четырьмя тросами.

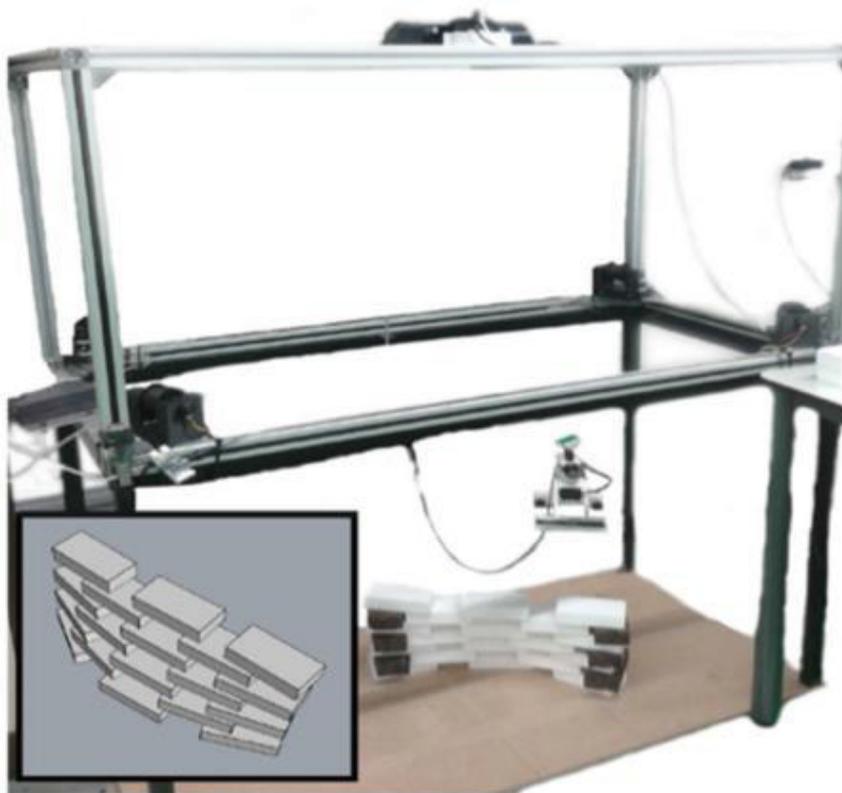


Рисунок 6 – ТТР SPIDERobot для автоматизированного строительства

В работе [11] разработан строительный 3D принтер на основе ТТР. 3D ТТР принтер имеет 6 степеней свободы с восемью тросами, приводимыми в движении серводвигателями (рисунок 7). Принтер предназначен для 3D-печати в строительстве с высокой точностью и стабильной траекторией печати с использованием в качестве рабочего органа бетонного экструдера.

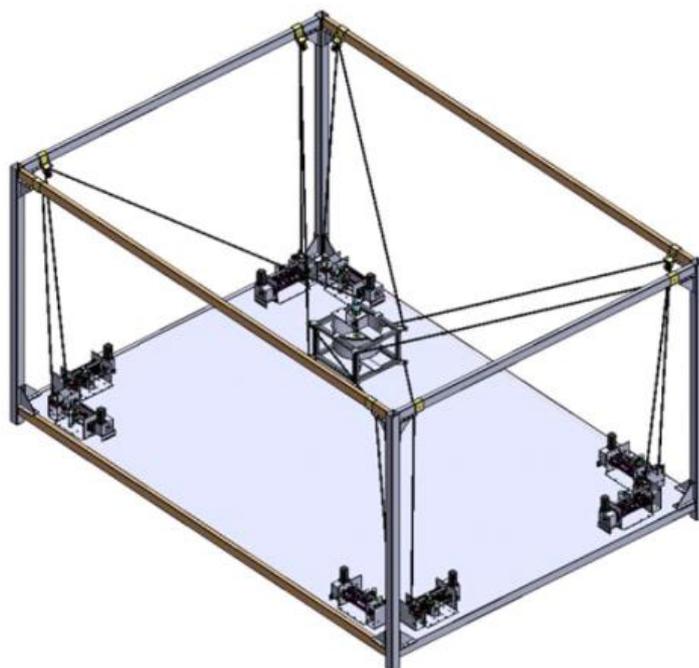


Рисунок 7 – Строительный 3D принтер на основе ТПР

ТПР состоит из трех частей, включая фиксированную платформу, мобильную платформу и несколько тросов, которые используются для соединения фиксированной платформы с мобильной платформой. Длина троса может быть изменена с помощью лебедок, приводимых в действие двигателями, установленными на неподвижной платформе, как показано на рисунок 8 [5].

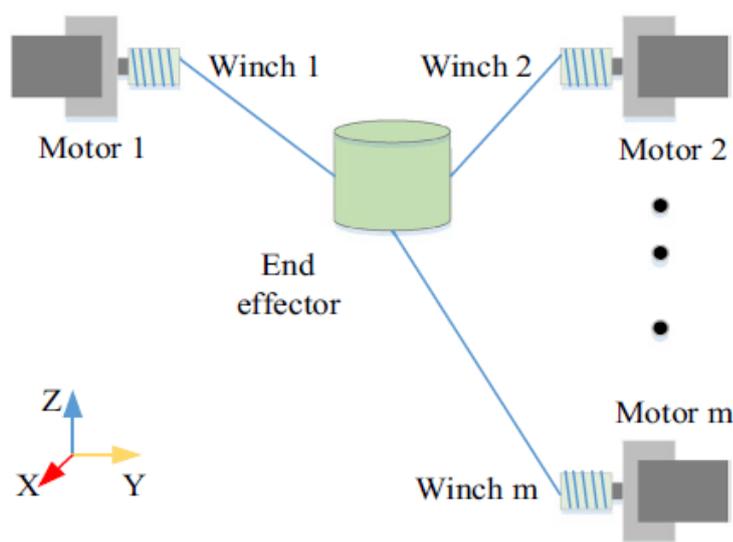


Рисунок 8 – Схема ТПР с  $m$  тросами

Благодаря преимуществам ТПР, включая таких, как малая инерционность и большая зона обслуживания, в последнее время в зарубежных институтах уделяется большое внимание разработкам и внедрениям в промышленность ТПР с новой структурой и новыми функциональными возможностями.

В то время как, в Республике Казахстан по тросовым параллельным манипуляторам не проводятся никаких исследований. Появление в стране тросовых параллельных роботов способно значительно расширить спектр научно-исследовательских услуг.

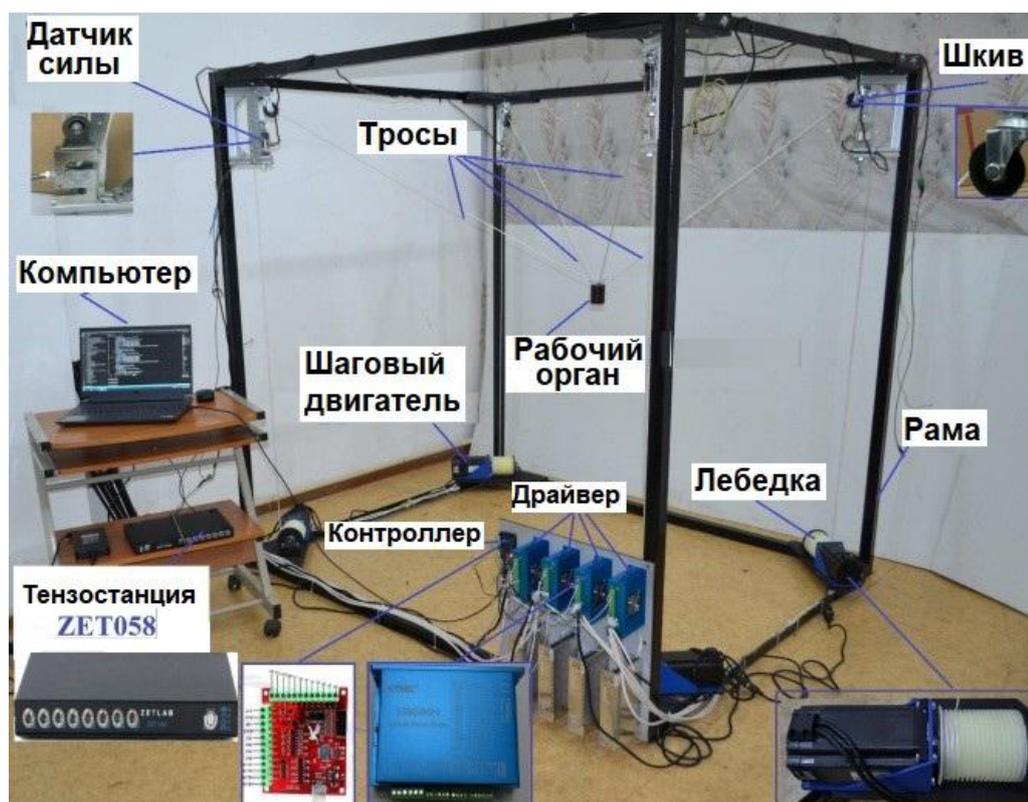


Рисунок 9 – Прототип пространственного ТПР

В институте механики и машиноведения им. У. А. Джолдасбекова изготовлен прототип подвесного точечного ТПР (рисунок 9), которая состоит из неподвижной прямоугольной рамы, четырех лебедок, четырех гибридных шаговых двигателей с драйверами и четырех тросов. Прототип ТПР оснащен 4 датчиками силы, для экспериментального определения силы натяжения тросов. Датчики силы подключены к измерительной тензометрической системе ZET 058.

#### **Выводы**

Разработан графический интерфейс управления прототипом ТПР для воспроизведения конечным эффектором кривых (круг, эллипс и.т.д.). Прототип ТПР имеет возможность ручного управления поступательным движением конечного эффектором: вперед-назад, влево-вправо, верх-вниз. Данный прототип

ТПР используется в институте для проведения научно-исследовательских работ магистрантами и докторантами и для проведения практических семинаров для студентов. Проведение студентами лабораторных работ, с использованием прототипа подвешенного точечного ТПР, дало эффект лучшего понимания структуры и работы ТПР. Стоит отметить, что студенты, после практической работы на прототипе ТПР, быстрее усвоили методы кинематического, статического и динамического анализа и управления ТПР. Кроме этого, у студентов появился интерес к усовершенствованию и созданию принципиально новых ТПР.

#### REFERENCES

- 1 **Pott, A.** Cable-Driven Parallel Robots. Theory and Application. – Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. – 465 p.
- 2 **Williams, II R. L., Gallina, P.** Translational Planar Cable-Direct-Driven Robots University of Trieste // Journal of Intelligent and Robotic Systems. – Vol. 37. – 2003. P. 69–96.
- 3 **Oh, S. R., Agrawal, S. K.** Cable suspended planar robots with redundant cables: controllers with positive tensions // IEEE Transactions on Robotics. – № 3. – 2005. P. 457-465.
- 4 **Zi, B., Qian, S.** Design, analysis and control of cable-suspended parallel robots and its applications. Singapore : Springer Singapore, 2017.
- 5 **Verhoeven, R.** Analysis of the workspace of tendon-based Stewart platforms. – Duisburg : Department of Mechanical Engineering, University of Duisburg-Essen, 2004.
- 6 **James, A., Roger, B., Nicholas, D.** The NIST robocrane // Journal of Robotic Systems. – № 10. – 1993. – P. 1709–724.
- 7 **Tanaka, M., Seguchi, Y., Shimada, S.** Kineto-statics of skycam-type wire transport system // Proceedings of USA-Japan Symposium on Flexible Automation, Crossing Bridges : Advances in Flexible Automation and Robotics. – 1988. – P. 689–694.
- 8 **Kirchgessner, N. et al.** The ETH field phenotyping platform FIP: a cable-suspended multisensory system // Funct. Plant Biol. – Vol. 44. – № 1. – 2017. – P. 154–168.
- 9 **Radojicic, J., Surdilovic, D., Krüger, J.** Application challenges of large-scale wire robots in agricultural plants // IFAC Proceedings Volumes. – Vol. 46. – № 4. – 2013. – P. 77–82.
- 10 **Pinto, A. M., Moreira E., Lima J. et al.** A cable-driven robot for architectural constructions: a visual-guided approach for motion control and path planning. // Autonomous Robots, 2017. – 41(7) : 1487–1499.
- 11 **Tho, T. P., Thinh, N. T.** Using a Cable-Driven Parallel Robot with Applications in 3D Concrete Printing // Appl. Sci. – 2021. – 11. – 563 p.

Материал поступил в редакцию 16.09.22.

**\*А. Ә. Джомартов<sup>1</sup>, А. Қ. Тулешов<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Ө. А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты,  
Қазақстан Республикасы Алматы қ.  
Материал баспаға түсті 16.09.22.

### ТРОСТЫҚ ПАРАЛЛЕЛЬ РОБОТЫ

*Жұмыста академик Ө. А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институтының ғылыми зерттеулері негізінде тростық параллельді роботты әзірлеудің негізгі тәсілдері ұсынылған. Бекітілген тікбұрышты жақтаудан, төрт лебедкадан, драйверлері бар төрт гибридті қадамдық қозғалтқыштан және төрт кабельден тұратын аспалы нүктелі тростық параллель роботтың (ТПР) прототипі жасалды. ТПР прототипі кабельдердің керілу Күшін эксперименттік анықтау үшін 4 күш сенсорымен жабдықталған. Күш датчиктері ZET 058 өлшеу тензометриялық жүйесіне қосылған.*

*Қисықтардың соңғы эффекторын (шеңбер, эллипс және т.б.) көбейту үшін ТПР прототипін басқарудың графикалық интерфейсі жасалды. ТПР прототипі соңғы эффектордың алға-артқа, солға-оңға, жоғарғы-төмен қозғалысын қолмен басқару мүмкіндігіне ие. Бұл ТПР прототипі институтта магистранттар мен докторанттардың ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу үшін және студенттерге арналған практикалық семинарлар өткізу үшін қолданылады. Студенттердің аспалы нүктелік ТПР прототипін қолдана отырып, зертханалық жұмыстарды жүргізуі ТПР құрылымы мен жұмысын жақсы түсінуге әсер етті. Айта кету керек, студенттер ТПР прототипінде практикалық жұмыстан кейін ТПР кинематикалық, статикалық және динамикалық талдау және басқару әдістерін тезірек игерді. Сонымен қатар, студенттер түбегейлі жаңа ТПР-ны жетілдіруге және құруға қызығушылық танытты.*

*Кілтті сөздер: талдау, әзірлеу, сымды, аспалы, робот.*

**\*А. А. Jomartov<sup>1</sup>, А. К. Tuleshov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after  
W. A. Dzholdasbekova, Republic of Kazakhstan, Almaty  
Material received on 16.09.22

### WIRE PARALLEL ROBOT

*The paper presents the main approaches to the development of a wire parallel robot based on scientific research of the Institute of Mechanics and Machine Science named after Academician U. A. Dzholdasbekov. A prototype of a suspended point wire parallel robot (WPR) has been made, which consists of a fixed rectangular frame, four winches, four hybrid stepper motors with drivers and four cables. The prototype of the WPR is equipped with 4 force sensors for experimental determination*

---

---

*of the tension force of the cables. The force sensors are connected to the ZET 058 strain gauge system.*

*A graphical control interface of the prototype WPR has been developed for the reproduction of curves by the end effector (circle, ellipse, etc.). The prototype WPR has the ability to manually control the translational movement of the end effector: forward-backward, left-right, top-down. This prototype of the WPR is used at the Institute for conducting research by undergraduates and doctoral students and for conducting practical seminars for students. Carrying out laboratory work by students, using a prototype of a suspended point WPR, gave the effect of a better understanding of the structure and operation of the WPR. It is worth noting that students, after practical work on the prototype of the WPR, quickly learned the methods of kinematic, static and dynamic analysis and control of the WPR. In addition, students have an interest in improving and creating fundamentally new WPR.*

*Keywords: analysis, development, wire, suspension, robot.*

Теруге 16.09.22 ж. жіберілді. Басуға 30.09.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 11,05 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 3998

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[nitk.tou.edu.kz](http://nitk.tou.edu.kz)