

УДК 621.865.8

doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-63-72

Влияние деформативности дельта-робота на точность позиционирования

Лянлян Чжу, С.С. Гаврюшин

МГТУ им. Н.Э. Баумана

The effect of delta-robot deformability on positioning accuracy

Liangliang Zhu, S.S. Gavriushin

Bauman Moscow State Technical University

Рассмотрен дельта-робот, точность позиционирования которого определяет его эффективность. Проведено исследование по определению деформации дельта-робота при разных положениях и нагрузках для повышения точности позиционирования. С помощью программного обеспечения SolidWorks создана упрощенная 3D-модель дельта-робота, на основе которой в среде ANSYS построена его конечно-элементная модель. С учетом реальных условий работы дельта-робота выполнен статический анализ его конечно-элементной модели с целью определения закономерности изменения его деформации при различных нагрузках и положениях. По результатам анализа установлено, что деформация ведомой штанги оказывает наибольшее влияние на точность позиционирования исполнительного органа дельта-робота, а его наибольшая деформация происходит преимущественно в средней и нижней частях шести ведомых рычагов и подвижной платформы. Результаты исследования могут стать основой для проектирования, оптимизации конструкции и разработки способов уменьшения погрешности позиционирования дельта-роботов.

Ключевые слова: дельта-робот WSC-600DJ, метод конечных элементов, статический анализ, точность позиционирования, деформация дельта-робота

The paper considers a delta robot, its positioning accuracy determines its effectiveness. A study was conducted to find the delta robot static deformation at different positions and loads in order to improve its positioning accuracy. The SolidWorks software was used to create the delta robot simplified 3D model, on this basis its finite element model was built in the ANSYS environment. Taking into account the delta robot actual operating conditions, its finite element model was statically analyzed to determine the alteration pattern in its static deformation at various loads and positions. Based on the analysis results, it was found that the driven rod deformation was significantly impacting positioning accuracy of the delta robot actuator, and its most serious deformation appeared mainly in the middle and lower sections of the six driven arms and the moving platform. Study results could become the basis for design, structure optimization and development of approaches to reduce the delta robot positioning error.

Keywords: WSC-600DJ delta robot, finite element method, static analysis, positioning accuracy, delta robot deformation

Благодаря большой скорости, высокой точности, простоте конструкции, небольшой массе и хорошим динамическим характеристикам дельта-роботы получили широкое распространение в различных областях. Их используют в электронике, легкой и пищевой промышленности, складской логистике и хирургии [1–7].

Дельта-робот — один из самых успешных параллельных роботов, применяемых в современной промышленности, способный выполнять операции с высокой точностью и большой скоростью.

Статический анализ дельта-робота позволяет определить точность его позиционирования. В настоящее время существует мало литературы по изучению статики роботов с параллельной структурой. Статический анализ является основой для определения жесткости и динамики механизмов [8].

Для статического анализа параллельных роботов применяют метод конечных элементов (МКЭ), метод спиральной теории, метод коэффициента влияния, векторный метод, метод преобразования координат, и др. Среди них наиболее широкое применение получили первые три метода [8–11].

Цель работы — определение деформации дельта-робота при разных положениях и нагрузках для повышения точности позиционирования.

Для статического анализа дельта-робота использован МКЭ. Сначала в среде SolidWorks выполнено 3D-моделирование дельта-робота, что определенным образом упростило модель. Затем на основе упрощенной модели с помощью программного обеспечения ANSYS Workbench 19.2 (далее ANSYS) проведен статический анализ, позволивший выявить закономерности изменения деформации дельта-робота.

Дельта-параллельный механизм. Дельта-робот изобретен командой Федеральной высшей политехнической школы Лозанны (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne) под руководством Р. Клавеля. Конструктивная схема дельта-робота, созданного Р. Клавелем, приведена на рис. 1 [12].

Дельта-робот состоит из неподвижно закрепленного основания 1, подвижной платформы 4, трех приводных рычагов 2, соединенных с приводами, и трех ведомых штанг 3, составленных из параллелограмма. Основание и

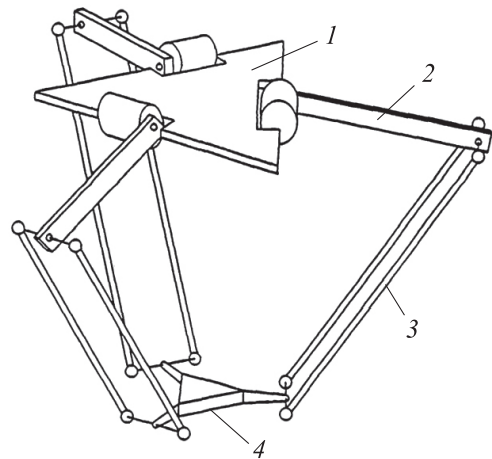


Рис. 1. Конструктивная схема дельта-робота, изобретенного Р. Клавелем

подвижная платформа связаны тремя кинематическими цепями, каждая из которых приводится в действие соответствующим двигателем, установленным на основании для вращения приводного рычага, а затем соединяется с подвижной платформой через параллелограммный механизм.

Параллелограммная структура ведомой штанги гарантирует, что основание и подвижная платформа всегда параллельны. Это ограничивает вращение подвижной платформы, вследствие чего дельта-робот совершает только поступательное движение по осям X, Y, и Z [2–4, 12–15].

Создание 3D-модели дельта-робота в среде SolidWorks. В качестве объекта исследования выбран дельта-робот WSC-600DJ компании Warsonco. Он имеет следующие параметры, мм:

| | |
|--|-----|
| Диаметр описанного круга подвижной платформы | 120 |
| Диаметр описанного круга основания | 280 |
| Длина приводного рычага | 250 |
| Длина ведомой штанги | 600 |

Упрощенная 3D-модель дельта-робота WSC-600DJ, созданная в среде SolidWorks, показана на рис. 2.

Статический анализ дельта-робота в среде ANSYS. Для решения статических задач часто используют уравнение

$$[K]\{x\} = \{F(t)\}, \quad (1)$$

где $[K]$ — матрица жесткости; $\{x\}$ — вектор перемещения; $\{F(t)\}$ — вектор силы.



Рис. 2. Упрощенная 3D-модель дельта-робота WSC-600DJ, созданная в среде SolidWorks

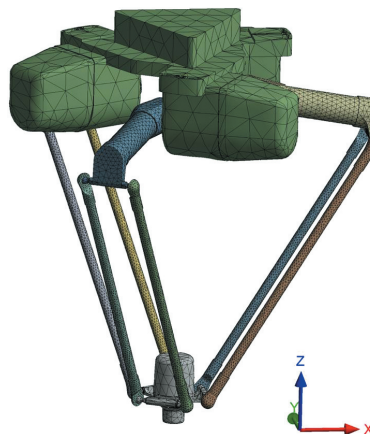


Рис. 3. Конечно-элементная модель дельта-робота WSC-600DJ

Формула (1) представляет собой уравнение баланса сил каждого узла во всех направлениях. На основе этих теоретических данных в программе ANSYS проанализирована статика механизма. Исследован типичный рабочий процесс дельта-робота в реальных условиях эксплуатации, определена деформация каждой детали.

Импорт модели. Упрощенную 3D-модель дельта-робота сохраняли в программном комплексе SolidWorks в формате .STEP, а затем импортировали в среду ANSYS, где с использованием модуля Static Structural выполнялся статический анализ дельта-робота. Свойства материалов для деталей дельта-робота WSC-600DJ (см. таблицу) задавали в модуле Engineering Data.

Построение сетки. Самым важным этапом статического анализа является построение сетки, качество которой влияет на скорость и точность получаемого решения. Расчеты при структурном анализе не требуют большого ко-

личества полигонов mesh, но элемент сетки должен быть элементом высокого порядка, т. е. узлы на вершине должны быть дополнены узлами в середине краев сетки.

В среде ANSYS обычно используют 10-узловые тетраэдрические элементы SOLID187 и 20-узловые шестигранные элементы SOLID186 для разделения сетки твердотельной структуры. Так как модель дельта-робота является сложной сборочной конструкцией, для статического анализа выбран элемент SOLID187.

Для построения сетки в модуле mesh есть два метода разделения. Первый — автоматическое построение сетки, которая, как правило, имеет низкое качество и не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности решения. Второй метод заключается в ручной установке размера сетки и настройке ее параметров в соответствии с требуемой точностью решения и эффективностью расчета.

Для построения сетки дельта-робота WSC-600DJ выбран второй метод, с помощью которого механизм разделили на 99 510 элементов и 182 600 узлов (рис. 3).

Свойства материалов для деталей дельта-робота WSC-600DJ

| Деталь | Материал | Модуль упругости, ГПа | Плотность, кг/м ³ | Коэффициент Пуассона |
|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------|
| Основание | Алюминиевый сплав | 71 | 2770 | 0,33 |
| Подвижная платформа | | | | |
| Приводной рычаг | Углеродное волокно | 116 | 1700 | 0,30 |
| Ведомая штанга | | | | |

Ограничения и нагрузки. Так как дельта-робот установлен вертикально (см. рис. 1), на верхнюю поверхность закрепленного основания накладывалось фиксированное ограничение Fixed Support. Нагрузка добавлялась как сила тяжести в фактическом рабочем состоянии и сила, которую можно приложить по трем координатным осям в разных рабочих состояниях.

Исследование влияния силы тяжести и внешней нагрузки на деформацию дельта-робота проведено путем моделирования нагрузки, действующей на него в реальных условиях. При

предположении, что дельта-робот движется в направлении осей X , Y и $-Z$ с ускорением $3g$ под нагрузкой 1 кг, к подвижной платформе вдоль этих осей приложена сила $F = 30$ Н. Кроме того, исследовано влияние силы тяжести на деформацию дельта-робота при отсутствии внешнего воздействия.

Решение. Результаты расчета в среде ANSYS в виде полей деформации дельта-робота при приложении нагрузки $F = 30$ Н вдоль осей X , Y , Z и при ее отсутствии приведены на рис. 4. Чтобы было более удобно наблюдать деформацию механизма под действием нагрузки, визуализация отображения изображения увеличивает фактическую величину деформации, а шкала масштабирования использует автоматический масштаб (Auto Scale).

Как видно из рис. 4, у подвижной платформы и ведомой штанги деформация больше, чем

у приводного рычага. Наибольшая деформация наблюдается в средней и нижней частях шести ведомых штанг и подвижной платформы. Следовательно, расчетная максимальная деформация дельта-робота представляет собой только максимальное смещение, создаваемое определенной точкой на ведомой штанге или подвижной платформе.

Таким образом, статическую погрешность дельта-робота нельзя рассматривать как значение соответствующей максимальной деформации, рассчитанной в среде ANSYS. То есть статическая погрешность позиционирования, генерируемая исполнительным органом, установленным на подвижной платформе, должна быть меньше максимальной деформации дельта-робота.

Ввиду структурной симметричности дельта-робота деформации, возникающие при приложении нагрузки $F = 30$ Н вдоль осей X и Y , раз-

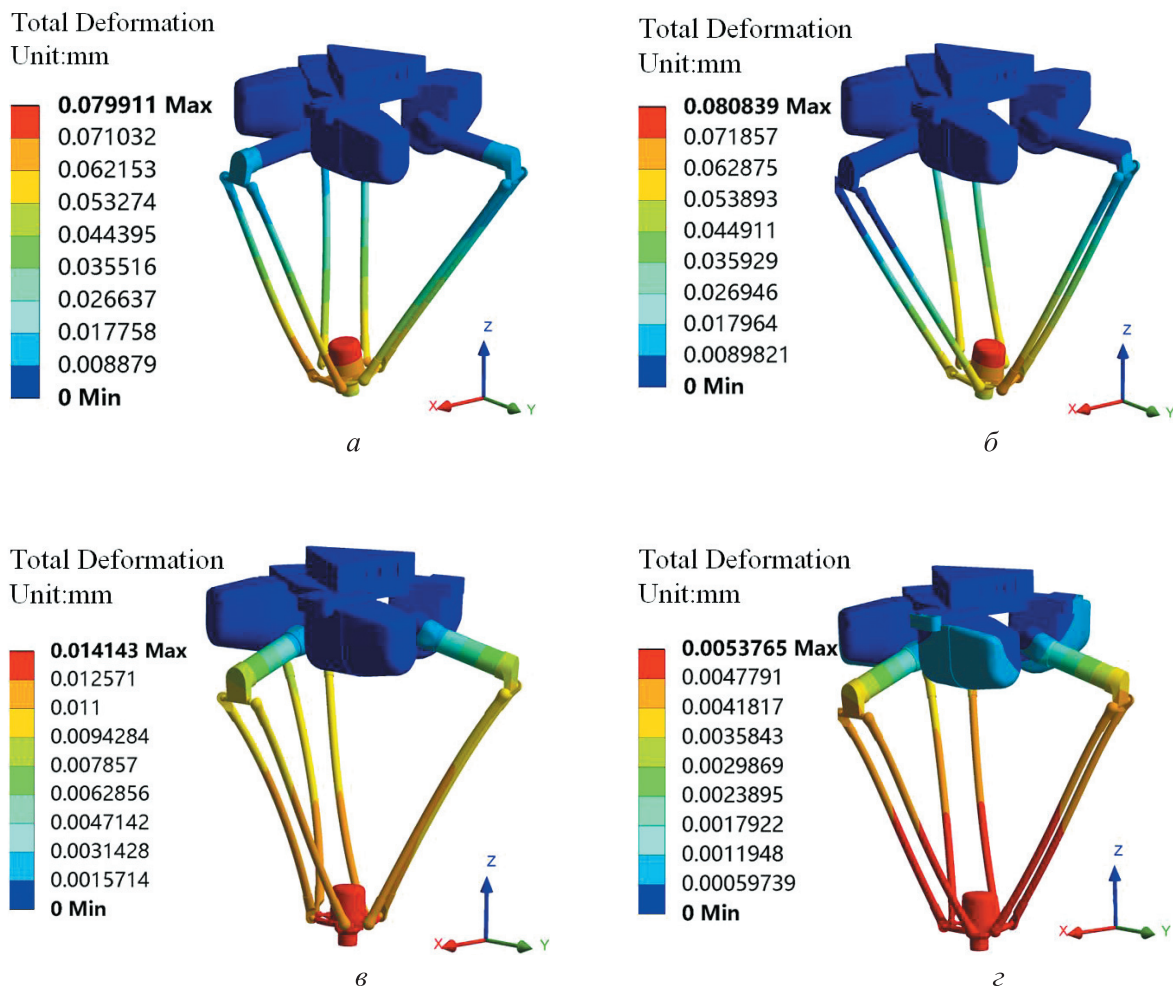


Рис. 4. Поля деформации дельта-робота, мм, при приложении нагрузки $F = 30$ Н вдоль осей X (а), Y (б), Z (в) и при ее отсутствии (г)

личаются незначительно. Максимальная деформация дельта-робота под действием только силы тяжести составляет 0,0053765 мм.

Когда к дельта-роботу одновременно приложены сила тяжести и нагрузка в направлении оси $-Z$, деформация механизма составляет 0,014143 мм. Деформация под действием силы тяжести занимает большую долю в общей деформации, поэтому влияние силы тяжести на механизм необходимо учитывать при выполнении статического анализа дельта-робота.

Проведено исследование изменения деформации дельта-робота, возникающей под действием внешней нагрузки вдоль оси $-Z$. Так как дельта-робот движется с теоретическим максимальным ускорением $10g$ при нагрузке 1 кг, на него будет действовать сила $F = 100$ Н, которая является предельной нагрузкой для робота, выполняющего сортировку деталей камеры смартфона.

В связи с тем, что дельта-робот перемещается в разные положения, усилия каждой детали различны, так как центр масс (ЦМ) подвижной платформы перемещается в разные положения рабочего пространства, и прикладываются разные нагрузки к каждому положению.

Исследовано изменение деформации дельта-робота при нахождении подвижной платформы в одинаковых положениях по осям X и Y и разных по оси $-Z$. Для облегчения расчета за начало отсчета приняли ось, проходящую через центр описанного круга основания и перпендикулярную ему. В пространстве задач дельта-робота выбирали окружность разного диаметра от этой центральной оси, и получали точку с положением $X = Y$ на окружности.

Таким способом получили несколько точек, и для каждой из них выбрали несколько положений по оси $-Z$. К каждому положению прикладывали нагрузку в диапазоне $F = 10 \dots 100$ Н. Результаты расчета изменения деформации дельта-робота под действием внешней нагрузки $F = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ и 100 Н при перемещении вдоль оси $-Z$ с незначительным удалением ЦМ подвижной платформы от центральной оси основания (в положениях $\Phi = 0, 25, 75, 100$ и 125 мм) приведены на рис. 5.

Результаты расчета изменения деформации дельта-робота под действием внешней нагрузки $F = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ и 100 Н при перемещении вдоль оси $-Z$ со значительным удалением ЦМ подвижной платформы от цен-

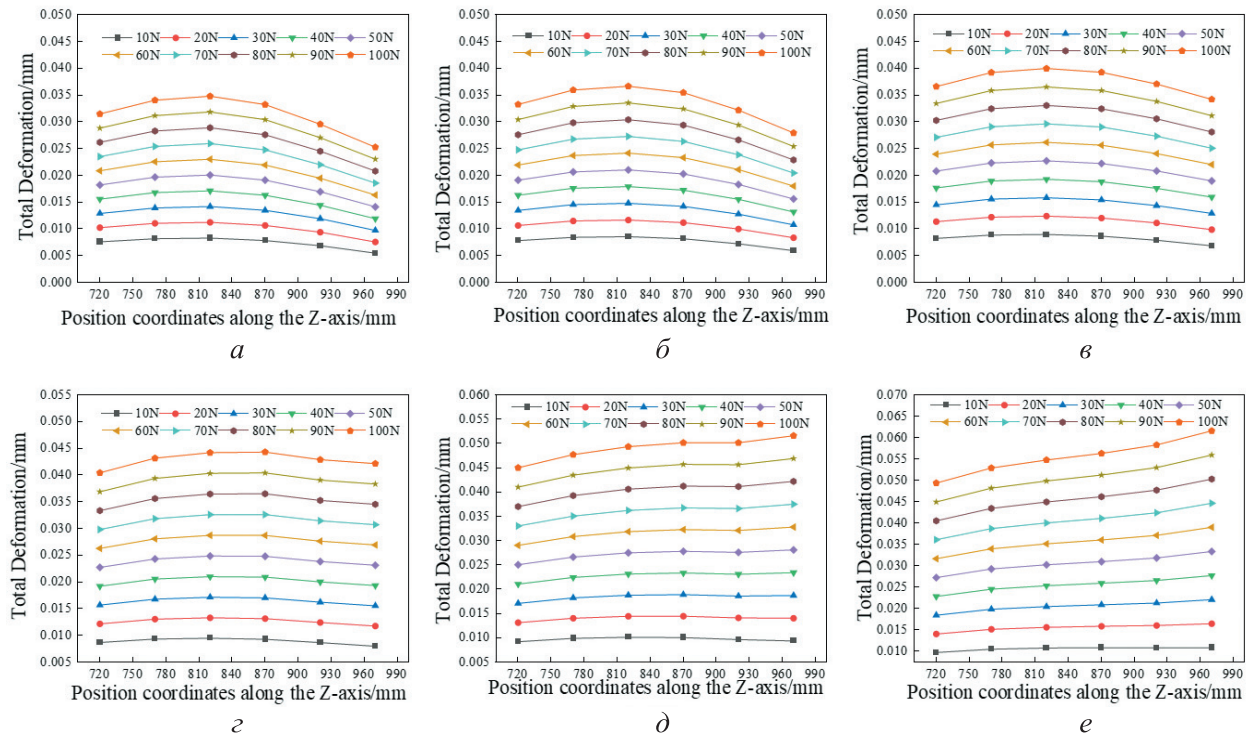


Рис. 5. Изменение деформации, мм, дельта-робота под действием внешней нагрузки, Н, при перемещении вдоль оси $-Z$, мм, с незначительным удалением ЦМ подвижной платформы от центральной оси основания:
 а — $\Phi = 0$ мм; б — $\Phi = 25$ мм; в — $\Phi = 50$ мм; г — $\Phi = 75$ мм; д — $\Phi = 100$ мм; е — $\Phi = 125$ мм

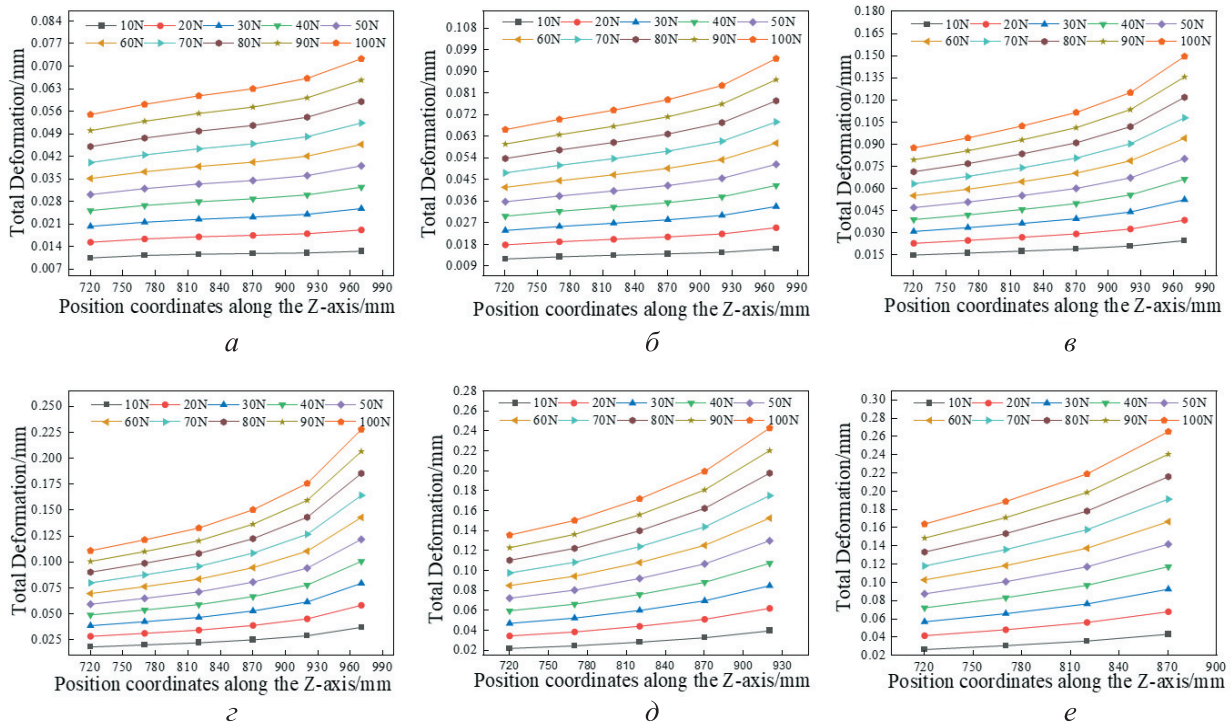


Рис. 6. Изменение деформации, мм, дельта-робота под действием внешней нагрузки, Н, при перемещении вдоль оси $-Z$, мм, со значительным удалением ЦМ подвижной платформы от центральной оси основания:

a — $\Phi = 150$ мм; b — $\Phi = 200$ мм; c — $\Phi = 300$ мм; d — $\Phi = 500$ мм; e — $\Phi = 600$ мм

тральной оси основания (в положениях $\Phi = 150, 200, 300, 400, 500$ и 600 мм) показаны на рис. 6.

Как видно из рис. 5 и 6, на деформацию дельта-робота влияет не только изменение внешней нагрузки, но и его положение. В одном и том же положении полная деформация механизма возрастает с повышением нагрузки. Когда подвижная платформа находится близко к центральной оси основания, и к дельта-роботу приложена фиксированная нагрузка, в направлении оси $-Z$ по мере удаления подвижной платформы от основания полная деформация механизма сначала увеличивается, а затем уменьшается.

Когда подвижная платформа находится далеко от центральной оси основания и к дельта-роботу приложена фиксированная нагрузка, полная деформация механизма продолжает увеличиваться в направлении оси $-Z$ по мере удаления подвижной платформы от основания.

Аналогичным образом определена деформация механизма, когда подвижная платформа перемещается в горизонтальном направлении при том же положении в направлении оси $-Z$ (рис. 7). Дельта-робот обладает структурной симметрией, поэтому координата X ЦМ подвижной платформы равна координате Y , то есть $X = Y$.

Как видно из рис. 7, если положение в направлении оси $-Z$ остается неизменным и дельта-робот движется в горизонтальном направлении, то его деформация продолжает увеличиваться по мере того, как ЦМ подвижной платформы постепенно удаляется от центрального положения основания.

Максимальная деформация дельта-робота, равная $0,26554$ мм, наблюдается при приложении к нему предельной нагрузки $F = 100$ Н по оси $-Z$ в левом предельном положении нижней границы ($\Phi = 600$ мм, $Z = -870$ мм).

Далее для статического анализа выбраны четыре предельных положения рабочей области дельта-робота: в центре верхней границы A ($\Phi = 0$ мм, $Z = -720$ мм), в центре нижней границы B ($\Phi = 0$ мм, $Z = -970$ мм), в левом предельном положении верхней границы C ($\Phi = 600$ мм, $Z = -720$ мм) и левом предельном положении нижней границы D ($\Phi = 600$ мм, $Z = -870$ мм). К этим четырем положениям прикладывалась предельная нагрузка $F = 100$ Н, и выполнялся расчет. Результаты расчета — поля деформации дельта-робота, возникающей под действием предельной нагрузки $F = 100$ Н, в предельных положениях A, B, C и D — показаны на рис. 8.

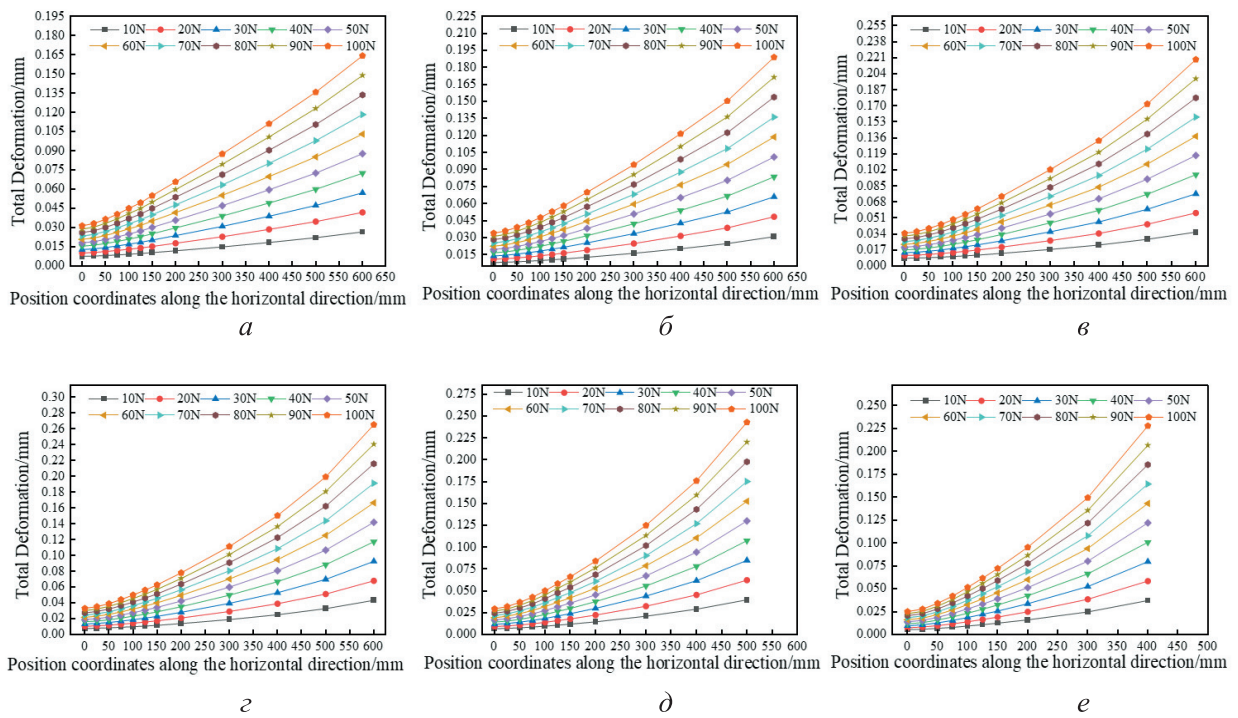


Рис. 7. Изменение деформации, мм, дельта-робота под действием разной внешней нагрузки, Н, при перемещении в горизонтальном направлении с фиксированным положением на оси Z = -720 (а), -770 (б), -820 (в), -870 (г), 920 (д), и -970 мм (е)

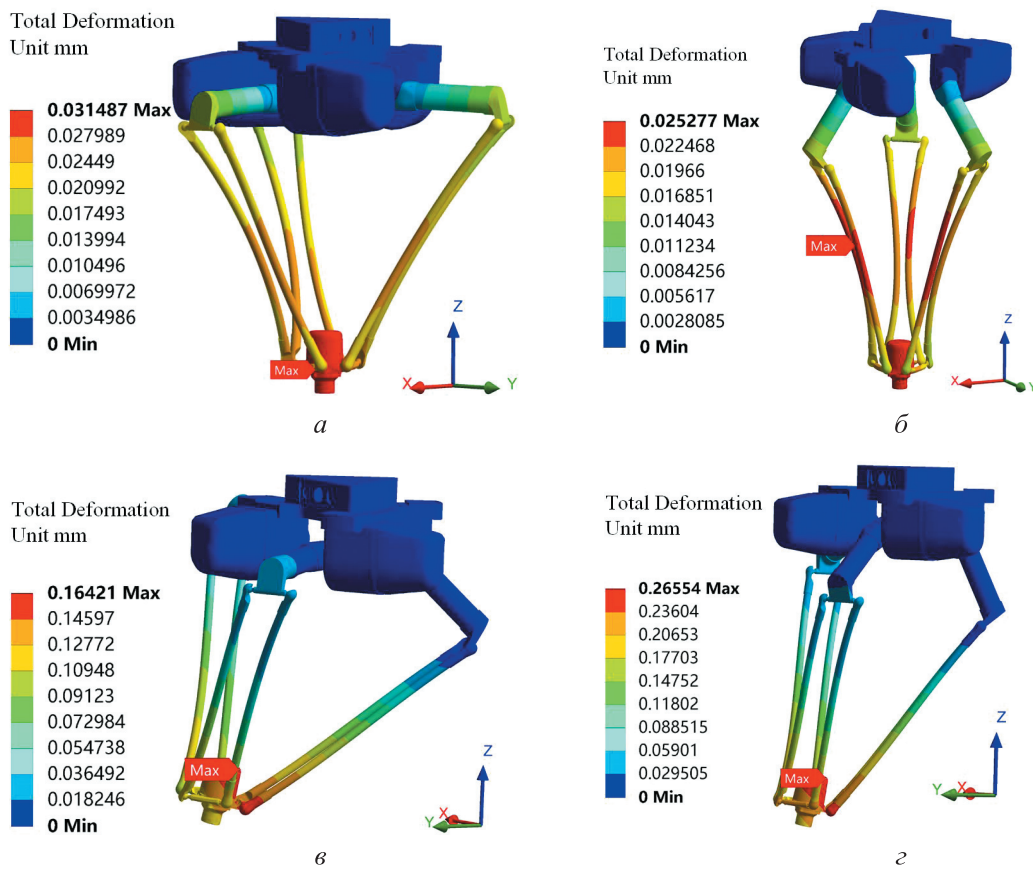


Рис. 8. Поля деформации дельта-робота, мм, возникающей под действием предельной нагрузки $F = 100$ Н, в предельных положениях А (а), В (б), С (в) и D (г)

В положении *A* наибольшая деформация дельта-робота, равная 0,031487 мм, наблюдается на подвижной платформе, а в положении *B* — на средней части ведомой штанги (0,025277 мм). В положениях *C* и *D* деформации правой половины подвижной платформы и ведомой штанги являются наибольшими и составляют 0,16421 и 0,26554 мм соответственно.

Выводы

1. По результатам статического анализа дельта-робота установлено, что его максимальная деформация происходит в средней и нижней частях шести ведомых штанг и подвижной платформы.

2. Выявлены следующие закономерности изменения деформации дельта-робота:

- в одном и том же положении полная деформация механизма увеличивается с ростом нагрузки;

- если подвижная платформа находится близко к центральной оси основания и к меха-

низму приложена фиксированная нагрузка, то по мере удаления подвижной платформы от основания полная деформация механизма в направлении оси $-Z$ сначала увеличивается, а затем уменьшается;

- если подвижная платформа находится далеко от центральной оси основания и к механизму приложена фиксированная нагрузка, то полная деформация дельта-робота продолжает возрастать в направлении $-Z$ по мере удаления подвижной платформы от основания;

- при одинаковом положении по оси Z дельта-робот движется в той же горизонтальной плоскости; по мере того, как положение центра тяжести подвижной платформы постепенно удаляется от центрального положения (оси Z), деформация механизма продолжает увеличиваться.

3. Результаты исследования могут стать основой для оптимизации деталей дельта-робота и уменьшения погрешностей позиционирования механизма.

Литература

- [1] Wang Y.N., Xu Y.W., Liu X.W. et al. Simulation analysis and verification of elastic position error of delta robot. *Manufacturing Automation*, 2020, vol. 42, no. 10, pp. 41–45.
- [2] Hu S.J., Wang Y., Yang Z.Y. Static and modal analysis for master arm of delta parallel robot based on ANSYS. *Machinery Manufacturing and Automation*, 2018, vol. 47, no. 5, pp. 181–183.
- [3] Huang J.C. *Course of parallel robot control technology and engineering project case*. Peking, China Machine, 2018. 251 p.
- [4] Zhang M.W., Yu Z.Z. *Principles and applications of industrial robots*. Harbin, Harbin Institute of Technology, 2018. 204 p.
- [5] Габутдинов Н.Р., Глазунов В.А., Духов А.В. и др. Хирургические роботы. Возможности использования манипуляторов последовательной и параллельной структуры. *Медицина и высокие технологии*, 2015, № 1, с. 45–50.
- [6] Глазунов В.А., Гаврилина Л.В., Духов А.В. и др. Разработка сферических роботов параллельной структуры для полостных операций. *Медицина и высокие технологии*, 2017, № 3, с. 62–66.
- [7] Мальшев Д.И. *Развитие методов оптимизации в решении задач анализа рабочего пространства и геометрических параметров механизмов параллельной структуры*. Дисс. ... канд. тех. наук. Белгород, ИМАШ РАН, 2021. 173 с.
- [8] Ai Q.L., Huang W.F., Zhang W.T. et al. Review of stiffness and statics analysis of parallel robots. *Advances in Mechanics*, 2012, vol. 42, no. 5, pp. 583–592, doi: <https://doi.org/10.6052/1000-0992-11-073>
- [9] Lu G.D., Zhang A.M., Zhou J. et al. Static Analysis and examination research of 3-RSS/S parallel mechanism. *Journal of Machine Design*, 2013, vol. 30, no. 3, pp. 26–31.
- [10] Huang Z., Zhao Y.S., Zhao T.S. *Advanced spatial mechanism*. Peking, Higher Education Press, 2014. 397 p.
- [11] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Springer, 2006. 402 p.
- [12] Clavel R. *Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté*. Ph.D. Thesis, Lausanne, Switzerland, EPFL, 1991. 146 p.

- [13] Rueda J.D., Ángel L. Structural analysis of a delta-type Parallel Industrial Robot using flexible dynamic of ANSYS 11.0. *35th Annual Conf. of IEEE Industrial Electronics*, 2009, pp. 2247–2252, doi: <https://doi.org/10.1109/IECON.2009.5415370>
- [14] Liu G.J. *Rigid body dynamics analysis of parallel robot*. Xi'an, Northwestern Polytechnical University, 2019. 136 p.
- [15] Xu Z.T., Liu Y.W., Chen X.G. et al. *Parallel robots*. Peking, China Machine Press, 2021. 246 p.

References

- [1] Wang Y.N., Xu Y.W., Liu X.W. et al. Simulation analysis and verification of elastic position error of delta robot. *Manufacturing Automation*, 2020, vol. 42, no. 10, pp. 41–45.
- [2] Hu S.J., Wang Y., Yang Z.Y. Static and modal analysis for master arm of delta parallel robot based on ANSYS. *Machinery Manufacturing and Automation*, 2018, vol. 47, no. 5, pp. 181–183.
- [3] Huang J.C. *Course of parallel robot control technology and engineering project case*. Peking, China Machine, 2018. 251 p.
- [4] Zhang M.W., Yu Z.Z. *Principles and applications of industrial robots*. Harbin, Harbin Institute of Technology, 2018. 204 p.
- [5] Gabutdinov N.R., Glazunov V.A., Dukhov A.V. et al. Surgical robots. Possibilities of sequential and parallel structure manipulators. *Meditsina i vysokie tekhnologii* [Medicine and High Technology], 2015, no. 1, pp. 45–50. (In Russ.).
- [6] Glazunov V.A., Gavrilina L.V., Dukhov A.V. et al. Development of spherical parallel-structure robots for cavity operations. *Meditsina i vysokie tekhnologii* [Medicine and High Technology], 2017, no. 3, pp. 62–66. (In Russ.).
- [7] Malyshev D.I. *Razvitie metodov optimizatsii v reshenii zadach agaliza rabocheho prostranstva i geometricheskikh parametrov mekhanizmov parallelnoy struktury*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of optimization methods in solving problems of analysis of working space and geometric parameters of parallel structure mechanisms. Kand. tech. sci. diss.]. Belgorod, IMASH RAN, 2021. 173 p. (In Russ.).
- [8] Ai Q.L., Huang W.F., Zhang W.T. et al. Review of stiffness and statics analysis of parallel robots. *Advances in Mechanics*, 2012, vol. 42, no. 5, pp. 583–592, doi: <https://doi.org/10.6052/1000-0992-11-073>
- [9] Lu G.D., Zhang A.M., Zhou J. et al. Static Analysis and examination research of 3-RSS/S parallel mechanism. *Journal of Machine Design*, 2013, vol. 30, no. 3, pp. 26–31.
- [10] Huang Z., Zhao Y.S., Zhao T.S. *Advanced spatial mechanism*. Beijing, Higher Education Press, 2014. 397 p.
- [11] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Springer, 2006. 402 p.
- [12] Clavel R. *Conception d'un robot parallèle rapide à 4 degrés de liberté*. PhD Thesis, Lausanne, Switzerland, EPFL, 1991. 146 p.
- [13] Rueda J.D., Ángel L. Structural analysis of a delta-type Parallel Industrial Robot using flexible dynamic of ANSYS 11.0. *35th Annual Conf. of IEEE Industrial Electronics*, 2009, pp. 2247–2252, doi: <https://doi.org/10.1109/IECON.2009.5415370>
- [14] Liu G.J. *Rigid body dynamics analysis of parallel robot*. Xi'an, Northwestern Polytechnical University, 2019. 136 p.
- [15] Xu Z.T., Liu Y.W., Chen X.G. et al. *Parallel robots*. Beijing, China Machine Press, 2021. 246 p.

Статья поступила в редакцию 18.05.2023

Информация об авторах

ЧЖУ Лянлян — аспирант кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: chzhul@student.bmstu.ru).

ГАВРЮШИН Сергей Сергеевич — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: gss@bmstu.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Чжу Лянлян, Гаврюшин С.С. Влияние деформативности дельта-робота на точность позиционирования. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 12, с. 63–72, doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-63-72

Please cite this article in English as:

Zhu Liangliang, Gavriushin S.S. The effect of delta-robot deformability on positioning accuracy. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 12, pp. 63–72, doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-63-72

Information about the authors

ZHU Liangliang — Postgraduate, Computer Systems of Production Automation, Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: chzhul@student.bmstu.ru).

GAVRYUSHIN Sergei Sergeevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Computer Systems of Industrial Automation Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: gss@bmstu.ru).



Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебное пособие

«Практическое применение численных методов»

Авторы: К.В. Титов, А.А. Очков

Соответствует учебным модулям программ дисциплин «Численные методы», «Численные методы и методы оптимизации». Включает в себя описание применения численных методов в математических программных пакетах. Представлены методы прогнозирования, широко применимые как в технике, так и в экономике.

Для студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», специализация «Вакуумная и компрессорная техника физических установок» и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», специализация «Проектирование нефтегазовых комплексов».

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://bmstu.press>