

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133

Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: hurtintbel@mail.ru*

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАТФОРМЫ С 6-Ю СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

Аннотация. В данной статье рассмотрены и проанализированы механизмы, построенные на принципах параллельной кинематики, предназначенные для выполнения различных технологических действий, с перемещением исполнительного органа по сложным пространственным траекториям. Механизмы с параллельными структурами обладают широкими возможностями для решения различных задач применения техники и технологий. Перспективными являются задачи, связанные с использованием в качестве подвижных оснований в различных симуляторах для получения навыков управления техникой (самолеты, автомобили, специализированная военная техника). Для проведения исследований кинематических и динамических характеристик разработан цифровой макет платформы – параметризованная 3D модель в САД системе. Платформа представляет систему с шестью степенями подвижности, которые реализованы на основе механизма с параллельной структурой. Приведено описание динамической имитационной модели с шестью степенями подвижности, разработанной с помощью программной среды MSC Adams. Модель предназначена для проведения исследований на этапе проектно-конструкторских работ при разработке симуляторов различных транспортных средств. Выполнено тестирование разработанной динамической модели с целью реализации методики проведения исследований кинематических и динамических характеристик платформы на основе имитационного моделирования. Приведены результаты, определяющие возможности модели для определения динамических и силовых параметров в отдельных элементах платформы при заданных геометрических параметрах конструкции платформы. Методика исследования цифрового макета платформы путем имитационного моделирования заключалась в выполнении моделью принятых траекторий с учетом технических характеристик актуаторов. При этом фиксировались и обрабатывались определенные динамические показатели. В результате построены графики изменения скоростей и ускорений центра масс, а также силовых характеристик (сумма сил, приложенных к телу в шарнире) при выполнении соответствующих траекторий.

Ключевые слова: динамическая модель, имитационная модель, механизм параллельной кинематики, платформа подвижности, цифровой макет.

Введение. В различных отраслях в качестве исполнительного оборудования все чаще используются механизмы, построенные на принципах параллельной кинематики. Это как правило автоматизированные системы, предназначенные для выполнения различных технологических действий, с перемещением исполнительного органа по сложным пространственным траекториям. При этом должны обеспечиваться определенные требования к точности позиционирования исполнительного органа, динамики перемещения. Перспективность применения таких механизмов обусловлена рядом выявленных преимуществ: высокая скорость и ускорение, достаточная жесткость в широком диапазоне положений, полезная нагрузка [1–5].

Механизмы с параллельными структурами обладают широкими возможностями для решения различных задач применения техники и технологий. Одними из наиболее перспективных являются эксплуатационные задачи, связанные с их использованием в качестве подвижных оснований в различных симуляторах для получения

навыков управления техникой (самолеты, автомобили, специализированная военная техника). Известны 6-ти степенные системы позиционирования на основе механизмов с параллельной структурой [6], которые эффективно реализованы во многих тренажерах [7–8], имитирующих процессы управления техническими средствами.

Повышение эффективности конструкций оборудования на базе механизмов с параллельной структурой решается ряд технических задач, связанных как с определением характеристик, обеспечивающих заданные параметры рабочего пространства [9–11], так и с определением динамических и инерционных характеристик [12–15].

Важной частью разработки оптимальных контракций являются исследования силовых реакций в базовых и подвижных элементах опор в соответствии с требуемыми траекториями. Обоснованные методики таких исследований обеспечивают успешное решение как проектных, так и проверочных задач, а также возможность поиска оптимальных контракций для определенного диапазона технических условий.

Динамическая модель платформы. И исходным объектом для разработки имитационной модели и последующих исследований служит платформа подвижности, используемая для тренажеров симуляции движения наземного транспорта. Действующая конструкция платформы изготавливается в настоящее время одним из современных российских предприятий. Платформа

представляет систему с шестью степенями подвижности, которые реализованы на основе механизма с параллельной структурой. Общий вид конструкции платформы показан на рисунке 1 и состоит из следующих основных компонентов: основание 1, подвижная платформа 2, актуаторы 3, шарниры 4. В таблицах 1 и 2 приведены технические характеристики и кинематические параметры платформы.

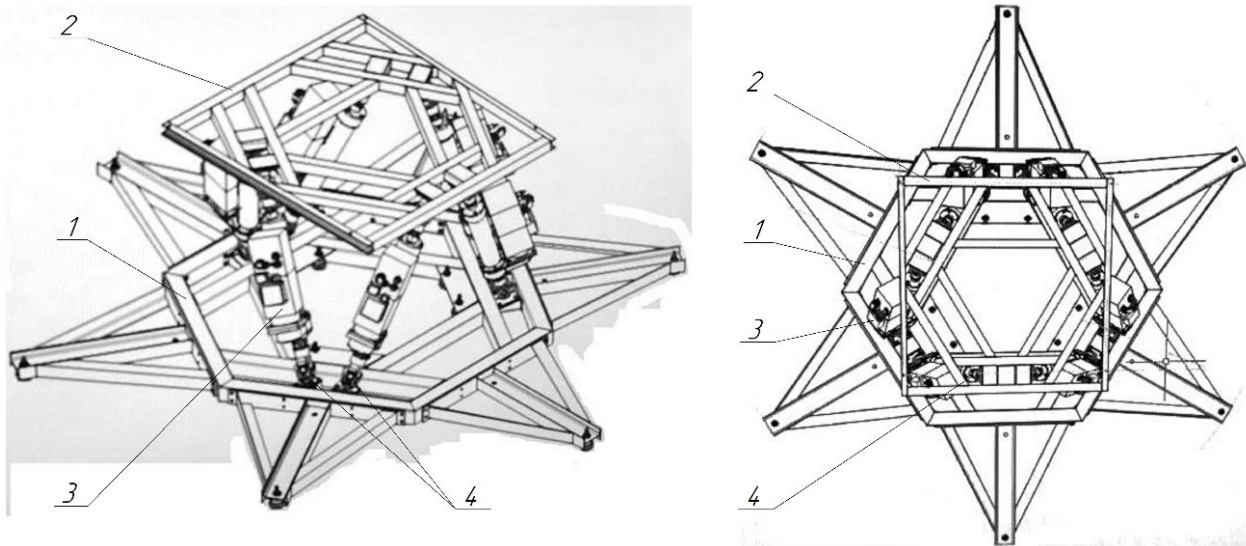


Рис. 1. Конструкция шестистепенной платформы подвижности, основные механические компоненты: 1) основание; 2) подвижная платформа; 3) актуатор, 4) шарниры

Для проведения исследований кинематических и динамических характеристик разработан цифровой макет платформы – параметризованная 3D модель в CAD системе. На основании геометрической 3D модели выполнено построение имитационной модели с помощью программной среды MSC Adams (рис. 2). Цифровая имитационная модель имеет в составе ряд идеализированных компонентов, соответствующих основным компонентам исследуемого реального объекта. Данные элементы конструктивно полностью соответствуют приведенным в таблицах 1 и 2 геометрическим и функциональным параметрам рассматриваемой платформы.

Имитационными аналогами реальной конструкции служат элементы, описываемые специальными программными операторами Adams. Основание (Base_Down) зафиксировано на

Ground при помощи FixedJoint. Актуаторы прикреплены к основанию в точках M01-M06 посредством сферического шарнира (SphericalJoint). Аналогично сопряжены актуаторы A11-A66 к рабочей поверхности платформы в точках M10-M60. Для имитации движения актуатора поршень и шток связаны между собой сопряжением «поступательное соединение» (Translation joint). Внешними воздействиями, выступающими как силовые нагрузки на платформу, являются заданные в модели сила тяжести G и полезная нагрузка PL . Сила тяжести направлена по направлению оси – OY , что соответствует направлению вертикали к поверхности пола. Полезная нагрузка от массы устанавливаемой кабины приложена в точке центра масс (CM), которая определена на основе требований промышленного образца.

Таблица 1

Технические характеристики роботизированной платформы подвижности

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Ширина	мм	2900
Длина	мм	3300
Высота	мм	1235
Вес	кг	600
Ход штока ЭЦ	мм	350
Полезная нагрузка	кг	1300

Параметры кинематики РПП

	Величина, мм	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с ²
Продольное перемещение	±370	180	20000
Боковое перемещение	±450	180	20000
Вертикальное перемещение	935..1235	180	20000

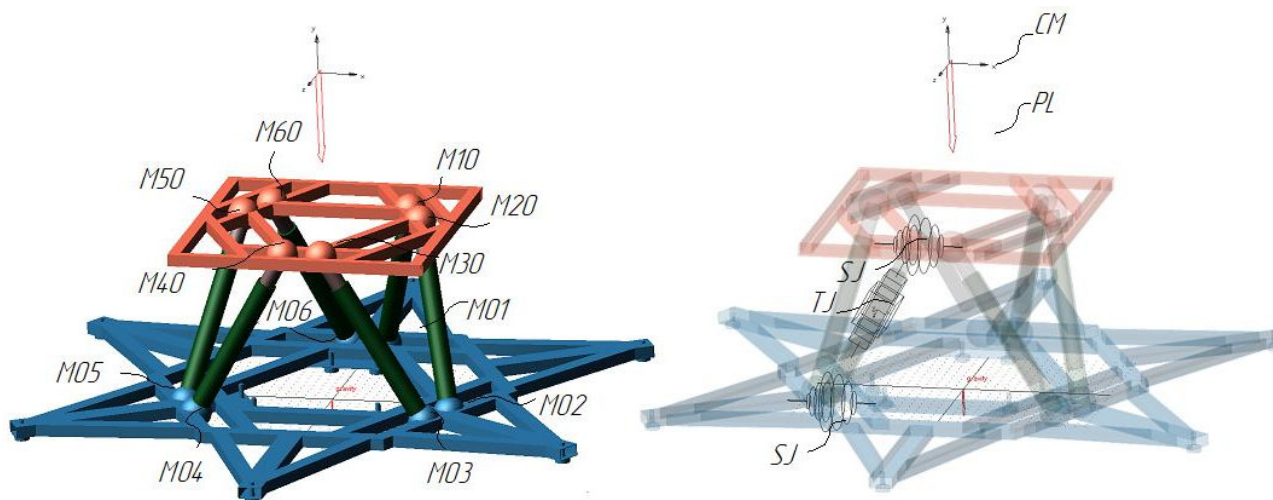


Рис. 2. Цифровая имитационная модель РПП выполненная в MSC Adams:

M01...M60 – маркеры соответствующих шарнирных соединений; SJ – сферический шарнир; TJ – поступательное соединение; CM – центр масс; PL – полезная нагрузка, приложенная в центре масс

Для имитации работы модели в 6 поступательных парах, имитирующих актуаторы, созданы поступательные движения при помощи программного оператора TranslationJointMotion, который в приложении MSC Adams реализует законы линейного перемещения. Закон, определяющий изменение перемещений во времени определяется специальной функцией STEP. Функция имеет следующий синтаксис: STEP (q, q1, f1, q2, f2), где: q – независимая переменная; q1 – начальное значение для q; f1 – начальное значение для

$$step(time, t_0, v_0, t_a, v_{max}) + step(time, t_a, 0, t_{v-a}, 0) + step(time, t_{v-a}, 0, t_v - v_{max}), \quad (1)$$

где time – независимая переменная (время); t_0 – начальное значение времени; t_a – время разгона актуатора до максимального значения скорости; t_{v-a} – время, за которое скорость актуатора оставалась неизменной; t_v – время одного цикла работы актуатора; v_{max} – максимально возможная скорость актуатора.

Траектории, реализуемые РПП. Для тестирования модели на предмет возможности проведения исследований методом имитационного моделирования предложены наборы траекторий с параметрами, отражающими эксплуатационные возможности платформы. Выбранные траектории отражают кинематические возможности платформы для реализации различных вариантов перемещений устанавливаемого объекта. При

f; q2 – конечное значение для q; f2 – конечное значение для f.

Для имитации движения актуатора использовалась формула (1), состоящая из 3х частей, в первой части происходил разгон актуатора до максимальной скорости, во второй части скорость актуатора оставалась неизменной, в третьей части происходило замедление актуатора (рис. 2).

этом учитываются случаи наиболее нагруженного состояния исследуемых элементов конструкции. Все виды перемещений выполняются с максимальными скоростями, обеспечиваемыми применяемыми в исследовании актуаторами. При начальном положении верхняя подвижная платформа расположена горизонтально, нулевое исходное положение по высоте выбрано как минимально возможное положение верхней платформы, исходя из технических требований к РПП это 900 мм над уровнем пола, геометрические центры основания и подвижной части находятся на одной вертикальной линии (ось Y в модели).

Каждая траектория из рассматриваемых траекторий состоит из нескольких участков разделяемых условно сменой вектора перемещения

верхней платформы (для траектории 1 - участок 1 и 2, рис. 3). На каждом участке совершают работу тот или иной актуатор. При этом каждый участок состоит из разгона (1.1, рис. 3), движения с постоянной скоростью (1.2, рис. 3) и замедления актуатора (1.3, рис. 3). На каждом участке

сначала происходит движение из исходного положения на максимальную величину в направлении соответствующей оси координат или поворот относительно соответствующей оси, далее на максимальную величину в противоположном направлении и в конце возврат в начальное положение.

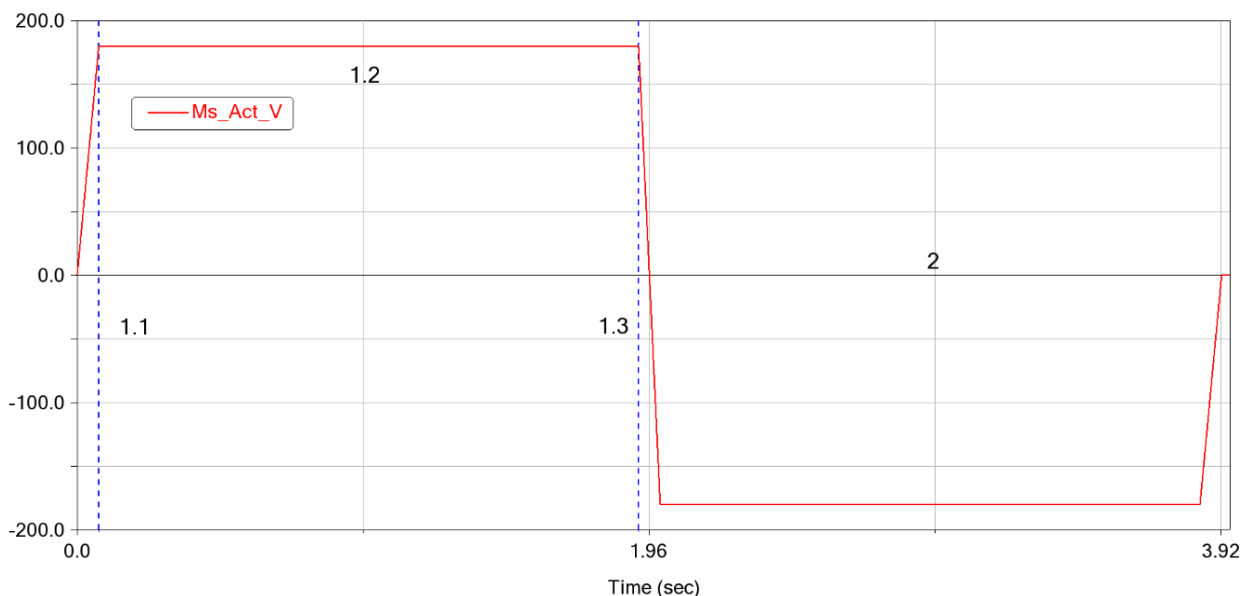


Рис. 3. Изменение скорости, развиваемой актуаторами А11-А66 при обработке 1й траектории

Ниже приведены описания рассмотренных траекторий.

Траектория 1. Состоит из 2х участков перемещения с примитивными движениями, когда все актуаторы совершают одинаковую работу. Подвижная платформа РПП перемещается по оси Y параллельно основанию.

Траектория 2. Из начального положения происходит наклон рабочей поверхности РПП относительно оси OX, одновременно из начального положения работают актуаторы А11, А33, А44, А66, достигнув максимально возможного хода, актуаторы А11 и А66 возвращаются в исходное положение, одновременно с ними А22 и А55 совершают работу, далее происходит возврат в исходное положение.

Траектория 3. Из начального положения происходит перемещение подвижной платформы в направлении маркера М03, затем движение в направлении маркера М50 и возврат в начальное положение. Одновременно начинают работу актуаторы А11, А44 и А66, достигнув максимального вылета, актуаторы А11, А44 и А66 возвращаются в исходное положение, одновременно с ними начинают движение актуаторы А22, А33, А55 в положительном направлении, далее актуаторы возвращаются в исходное положение.

Траектория 4. Подвижная платформа совершает поворот вокруг оси OY, проходящей через центр масс и возврат в начальное положение.

Траектория 5. Суть траектории 5 заключается в следующем. Подвижная платформа приводится в движение поочередно каждым актуатором. Первым совершает перемещение актуатор соединяющий маркеры М_01 и М10, затем через $t_v/6$ с начинает двигаться актуатор соединяющий маркеры М02 и М20 и так далее поочередно последовательно включаются в работу все актуаторы. После того, как актуатор достиг максимального значения перемещение штока, актуатор меняет направление на обратное. После чего подвижная часть РПП повторяет движение и останавливается в крайнем верхнем положении, когда рабочая поверхность параллельна основанию. Для всех траекторий проведены предварительные исследования и выявлены наиболее критичные с точки зрения напряжённости элементов конструкции.

Из всех описанных траекторий по результатам моделирования определены две траектории, в которых возникают наибольшие нагрузки в шарнирах. Это траектории 2 и 3. Дальнейшее описание модели будет проходить на примере исследования данных траекторий (рис. 4).

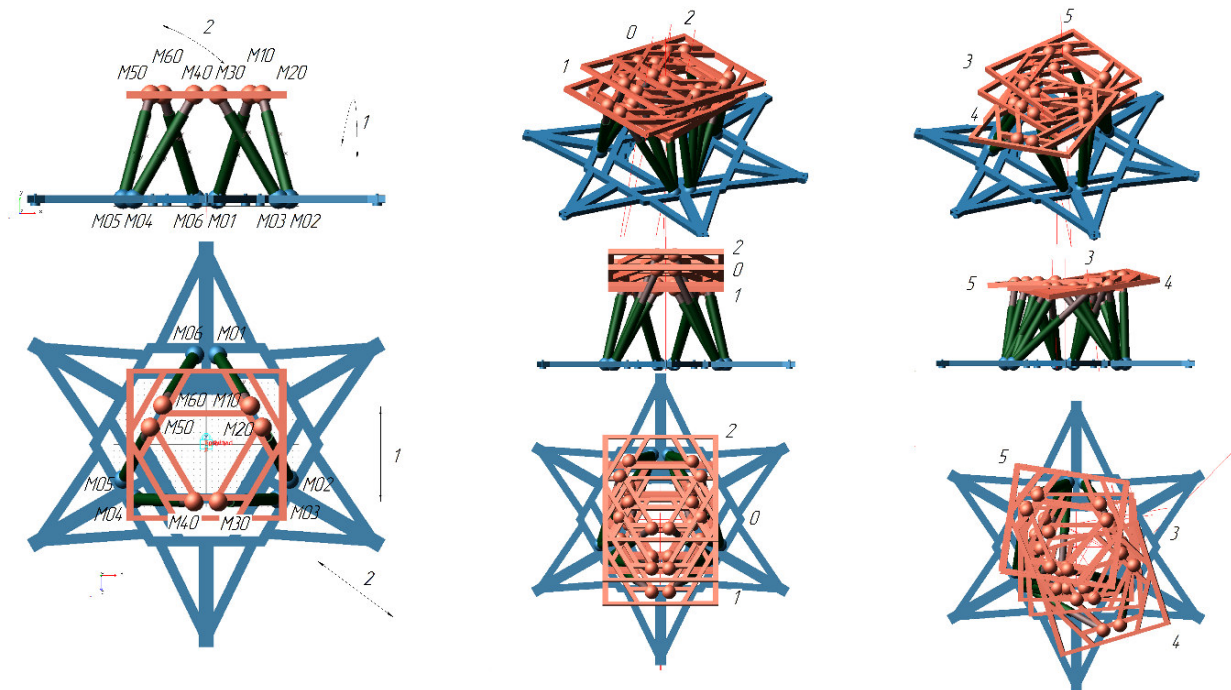


Рис. 4. Траектории движения подвижной части РПП:
 а) общий вид траекторий; б) траектория вид 1; в) траектория вид 2

Результаты исследования. Методика исследования цифрового макета платформы путем имитационного моделирования заключалась в выполнении моделью принятых траекторий с учетом технических характеристик актуаторов. При этом фиксировались и обрабатывались определенные динамические показатели.

В результате построены графики изменения скоростей и ускорений центра масс, а также силовых характеристик (сумма сил, приложенных к телу в шарнире) при выполнении соответствующих траекторий. На графиках использованы следующие обозначения: T2 – траектория 2; T3 – траектория 3; Ms_VM_cm - кривая (тренд) изменения результирующей скорости центра масс; Ms_AM_cm – кривая (тренд) изменения результирующей ускорения центра масс; Ms_SF_01 -

Ms_SF_06 – кривые (тренды) изменения результирующих силовых значений в шарнирах основания M01-M06; Ms_SF_10 - Ms_SF_60 – кривые (тренды) изменения результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы M10-M60; Ms_SF_05X(Y,Z) – кривые (тренды) изменения проекции силовых значений в шарнире основания M05 на ось OX (OY, OZ).

На рисунке 5 изображен график изменения результирующей скорости центра масс платформы. Резкие скачки и падения скоростей обусловлены тем, что при отработке завершения движения на участке все актуаторы останавливаются. Пиковые значения результирующей скорости возникают при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (рис. 3, в) и когда принимает положение 5 (рис. 3, в).

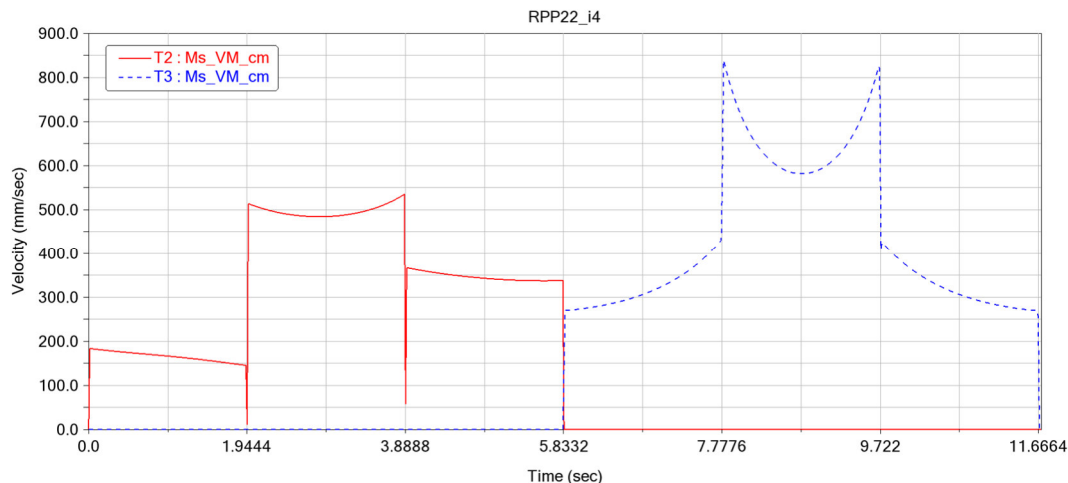


Рис. 5. Изменение результирующей скорости центра масс при выполнении траекторий

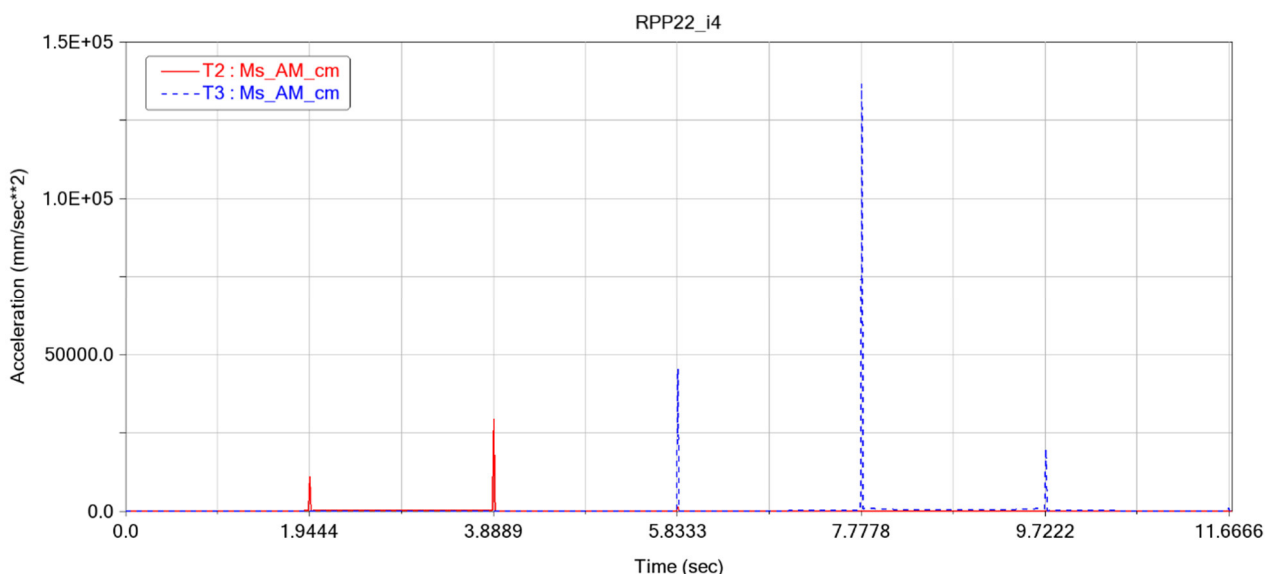


Рис. 6. Изменение результирующей ускорения центра масс при выполнении траекторий

График изменения результирующей ускорения центра масс представлен на рисунке 6. На протяжении большего количества времени ускорение центра масс отсутствует, так как актуаторы ускоряются (замедляются) до максимальной скорости за $t=0,01$ с. Пики результирующей ускорения появляются во время разгона и замедления РПП. Пик ускорения центра масс возникает при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (рис. 3, с). На данном участке происходит работа всех шести актуаторов, три из которых (A22, A33, A55) работают на удлинение, а других три (A11, A44, A66) в обратном направлении.

При отработке траектории 2 на рисунке 7

можно увидеть симметричные значения результирующей суммы сил, приложенных к шарниру. Значения суммы сил близки друг к другу в маркерах M01 и M06, M02 и M05, M03 и M04. Скачок значений результирующей суммы сил происходит при одновременной работе 4 актуаторов, A11 и A66 совершают возврат в исходное положение, A22 и A55 начинают совершать работу, актуаторы A33 и A44 находятся в состоянии максимальной длины вылета.

Наибольший пик результирующей суммы сил, приложенных к шарниру, возникает при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (аналогично максимальному пику ускорения). Максимальное значение результирующей суммы сил приходится на шарнир опоры M05.

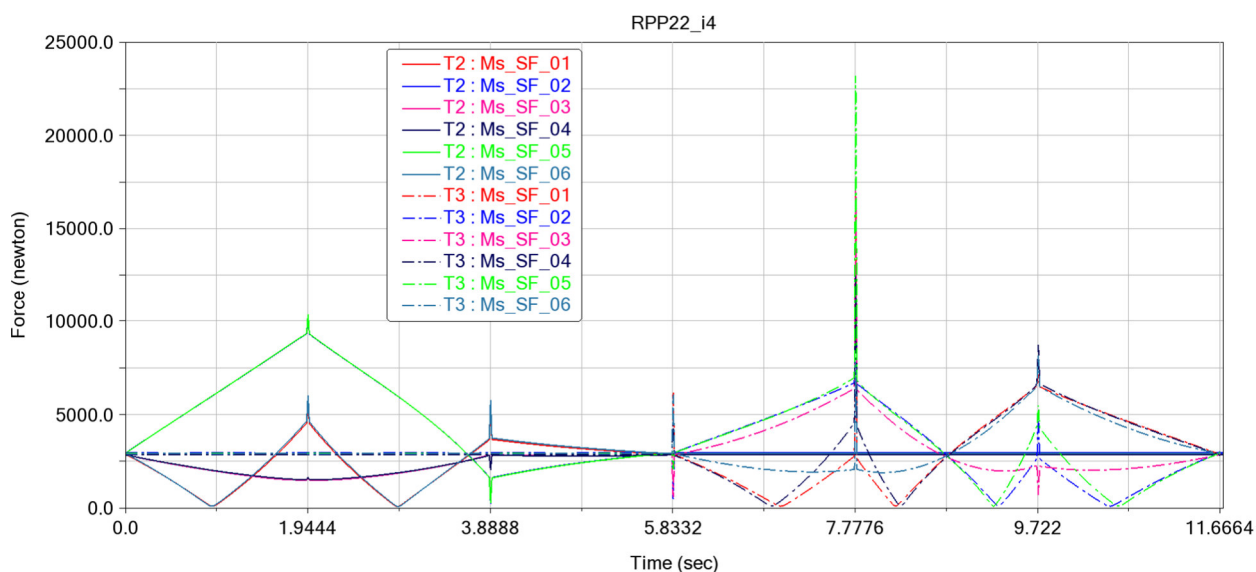


Рис. 7. Изменение результирующих силовых значений в шарнирах основания M01-M06 при отработке траекторий

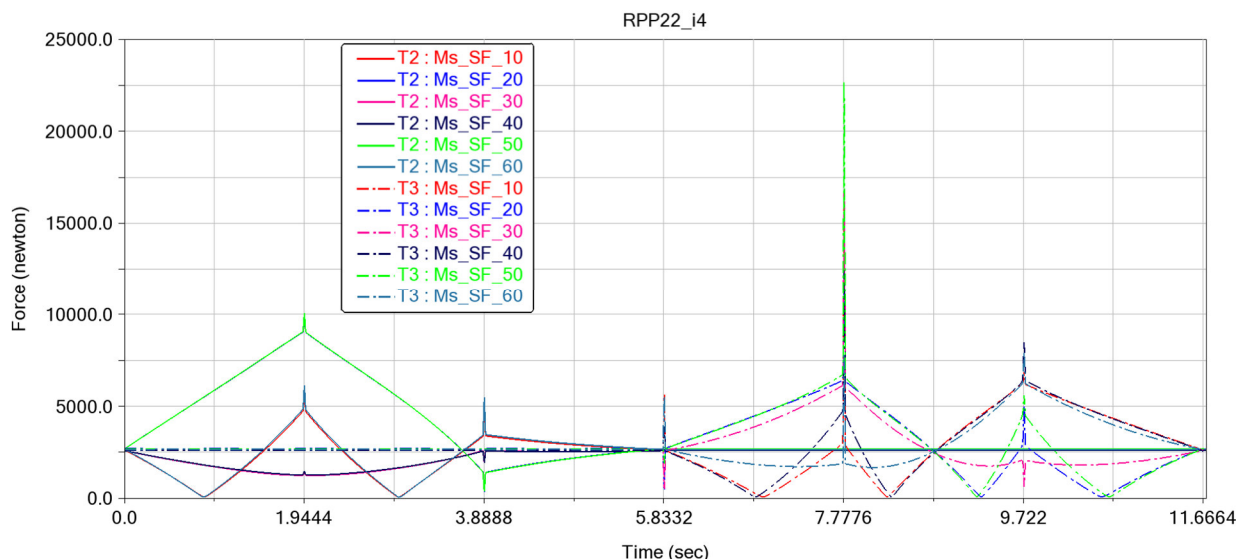


Рис. 8. Изменение результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы М10-М60 при обработке траекторий

На рисунке 8 изображены изменения результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы. Графики изменения результирующей силовых значений в шарнирах подвижной платформы аналогичны графикам, изображенным на рисунке 7.

В таблицах 3 и 4 представлены пиковые значения результирующих суммы сил, приложен-

ных к шарнирам М01-М06 и М10-М60 соответственно. Разработанная имитационная модель с учетом возможностей среды MSC Adams позволяет предоставить большое количество данных по каждому из параметров. Так для составления таблиц 3 и 4 были проанализированы массивы данных значений сумм сил с ценой деления 0.012 с (около 1000 значений).

Таблица 3

Пиковые значения суммы сил, приложенных к шарнирам М01-М06

	t	M01	M02	M03	M04	M05	M06
T2	0,91	119,25	5943,53	2017,68	2031,80	5950,11	105,48
	1,95	5888,98	10335,88	1630,05	1657,18	10369,98	6031,22
	2,91	90,60	5946,08	1869,81	1894,12	5950,71	79,31
	3,89	5661,14	240,51	2046,28	2051,13	269,42	5772,58
T3	5,84	6172,77	440,47	605,40	4456,80	2073,24	6064,45
	7,78	16859,69	11744,76	17365,41	12497,20	23176,15	7834,03
	8,74	2626,85	2979,26	2802,07	2579,14	2936,76	2724,77
	9,73	7143,79	4886,21	719,80	8724,70	5485,17	8153,82

Таблица 4

Пиковые значения суммы сил, приложенных к шарнирам М10-М60

	t	M10	M20	M30	M40	M50	M60
T2	0,90	140,49	5619,05	1770,64	1784,63	5625,27	163,95
	1,95	5994,63	10035,68	1452,97	1490,96	10069,59	6137,19
	2,91	217,84	5675,52	1598,00	1622,84	5680,01	243,96
	3,89	5380,93	332,38	1926,66	1943,11	361,98	5491,86
T3	5,84	5617,15	490,74	515,32	3921,88	1917,25	5520,45
	7,78	16794,78	11184,38	16766,90	12436,03	22690,53	7809,09
	8,74	2426,11	2650,26	2506,34	2381,03	2611,22	2496,67
	9,73	6854,34	5017,15	615,96	8482,43	5585,27	7898,98

На рисунке 9 показано положение РПП в момент времени $t=7.78$ с, когда значение результирующей суммы сил в шарнире М05 достигает максимального значения.

Имитационная модель помимо результирующей суммы сил, приложенных к точке может

дать представление о проекции суммы сил на необходимую ось. Так на рисунке 10 представлены изменения проекций сумм сил на оси OX, OY и OZ для самого нагруженного шарнира М05. В таблице 5 представлены аналитические данные выведенные из графиков рисунка 10. Анализируя

данные из таблицы 5 и семейство графиков на рисунке 10, можно увидеть, что наибольшую

нагрузку шарнир M05 испытывает в направлении оси OY ($F=-19970$ Н).

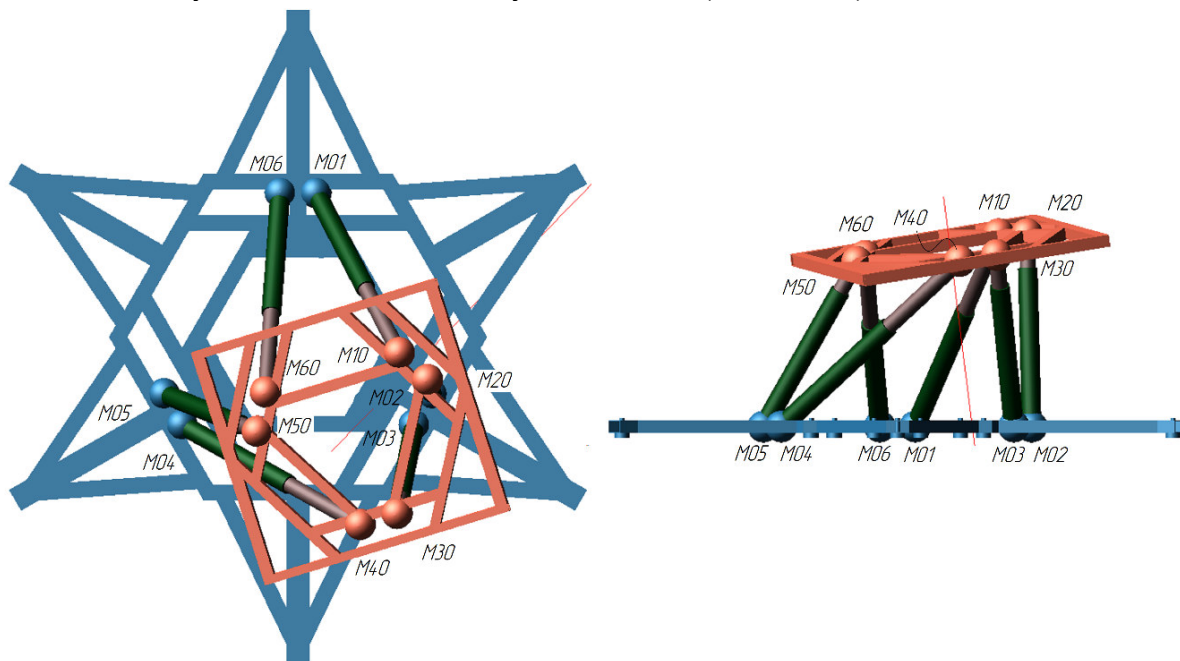


Рис. 9. Положение платформы при максимальном значении суммы сил, приложенном в шарнире M05

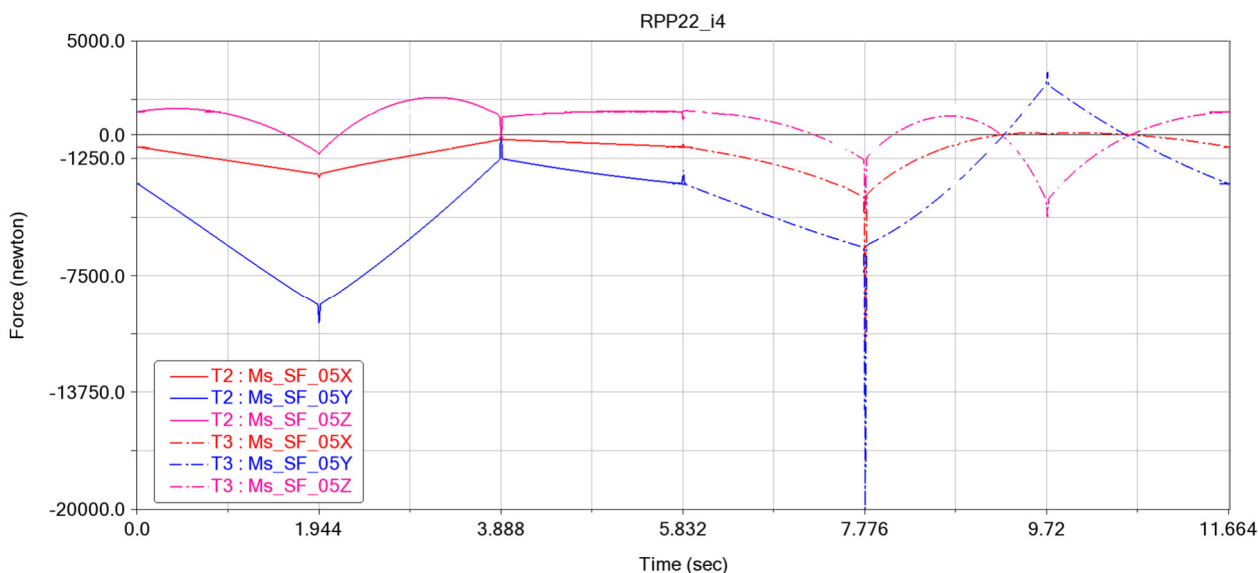


Рис. 10. Изменение суммы сил в проекции на оси OX, OY, OZ приложенных к шарниру M05

Таблица 5

Пиковые значения суммы сил в проекции на оси OX, OY, OZ приложенных к шарниру M05

	t	OX	OY	OZ	M
T2	0,90	-1313,12	-5634,04	1180,22	5950,11
	1,95	-2319,29	-10054,69	-1029,84	10369,98
	2,91	-1122,95	-5545,20	1844,10	5950,71
	3,89	48,00	52,27	-259,90	269,42
T3	5,84	-487,18	-1881,61	721,46	2073,24
	7,78	-10996,32	-19970,00	-4172,97	23176,15
	8,74	-539,75	-2644,37	989,05	2936,76
	9,73	47,14	3325,93	-4361,55	5485,17

На рисунке 11 изображены векторы результирующих суммы сил, приложенных к наиболее

нагруженному шарниру M05 в положениях, когда изменяется вектор перемещения центра масс при обработке траекторий 2 и 3.

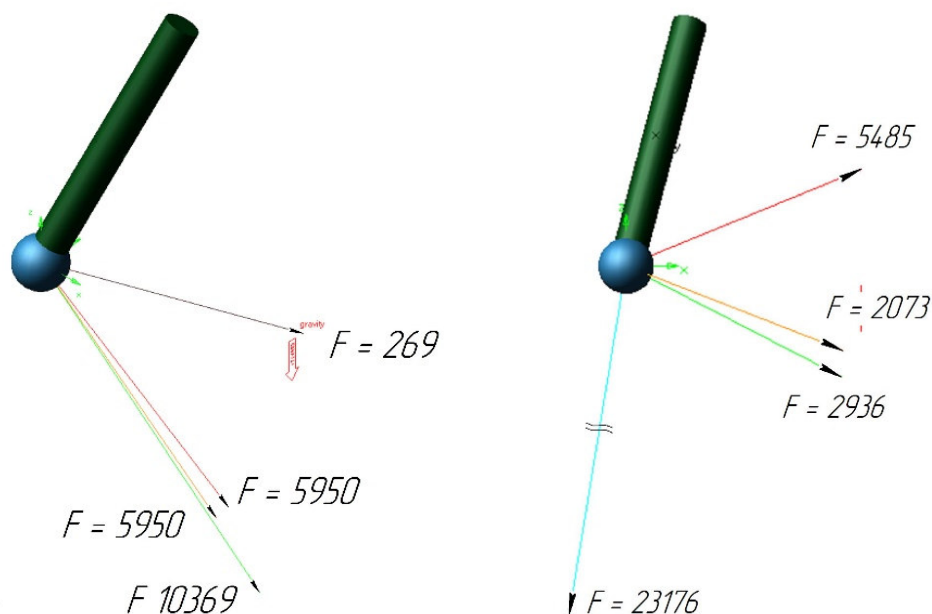


Рис. 11. Направление вектора суммы сил при обработке 2й и 3й траектории, приложенных к шарниру M05

Вывод. Имитационная модель может быть использована при проектировании различных тренажеров, выступая как прототип промышленного образца. При этом позволит выполнять исследования в части разработки различных конструктивных исполнений в зависимости от требуемых технологических задач.

Кроме того, имитационное моделирование может обеспечить решение оптимизации конструктивных решений при разработке промышленных образцов платформы для симуляторов определенных типоразмеров и различного назначения.

Важным направлением также является возможность подбора исполнительных приводных устройств и их характеристик с учетом требуемых геометрических и динамических параметров платформы. Одним из направлений применения имитационной модели является анализ точности перемещений при выполнении заданных траекторий с целью тестирования и отладки программ управления, разрабатываемых для симуляторов.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. Berlin: Springer. 2007. 402 p.
2. Kong H., Gosselin C.M. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Berlin: Springer. 2007. 276 p. doi:10.1007/978-3-540-71990-8.

3. Чурин В.В. Использование компьютерных тренажеров для подготовки рабочих дорожностроительных профессий // Молодой ученый. 2011. Т.3. № 4. С. 28–29.

4. Габутдинов Н.Р., Глазунов В.А., Филиппов Д.Н. Механизмы параллельной структуры с шестью степенями свободы, разработанные в Институте машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. №. 7. С. 83–89.

5. Глазунов В.А., Брио С., Аракелян В., Грунтович М.М., Нгуен М.Т. Разработка манипуляционных механизмов параллельно-перекрестной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. Вып. 2. М.: Наука, 2008. С. 100–110.

6. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation // Device Mechanism Design for Robotics. 2021. Vol. 103. Pp. 217–225. doi:10.1007/978-3-030-75271-2_23

7. Сапунов Е.А., Прошин И.А. Моделирование привода динамического стенда авиационного тренажера // Авиационно-космическое машиностроение. 2011. С. 337–340.

8. Белякова А.В., Савельев Б.В. Анализ информационных моделей тренажеров для обучения водителей транспортных средств (обзор) // Вестник СибАДИ. 2019. № 16(5). С. 558–571.

9. Hill R.B., Briot S., Chriette A., Martinet P. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. RoManSy 2020 - 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Sep 2020, Sapporo /Virtual, Japan.

10. Rybak L., Khalapyan S., Gaponenko E. Issues of planning trajectory of parallel robots taking

into account zones of singularity // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042092. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042092.

11. Liu X.-J., Wang J., Oh K.-K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 2. Pp. 209–225. doi: 10.1023/B:JINT.0000015403.67717.68.

12. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44. Iss. 7. Pp. 626–632. doi:10.1109/TRO.2004.833801.

13. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M.,

Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator // Proceedings of Workshop on 96 Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators (October 3–4, 2002, Quebec City, Quebec, Canada) 2002. Pp. 12–15.

14. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures // ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics. 2019. doi:10.1007/978-3-319-78963-7_23.

15. He J., Gu H., Wang Z. Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process // Journal of Mechanical Engineering Science. 2013. Vol. 227. Iss. 1. Pp. 161–169. doi:10.1177/0954406212444508.

Информация об авторах

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чуев Кирилл Витальевич, заведующий лабораторией кафедры технология машиностроения. E-mail: kirill.chuev@qmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыбак Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения ИТОМ, руководитель НИИ РТиСУ. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Скитова Валерия Михайловна, инженер-исследователь, аспирант, кафедры технология машиностроения. E-mail: Petrenko_Lera1995@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.12.2022 г.

© Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М., 2023

**Khurtasenko A.V., Chuev K.V., Rybak L.A., Skitova V.M.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: hurtintbel@mail.ru

DYNAMIC MODEL OF A PLATFORM WITH 6 DEGREES OF MOBILITY

Abstract. This article discusses and analyzes mechanisms based on the principles of parallel kinematics, designed to perform various technological actions, with the movement of the executive body along complex spatial trajectories. Mechanisms with parallel structures have wide possibilities for solving various problems of application of equipment and technologies. Promising are the tasks associated with the use of mobile bases in various simulators to gain skills in controlling equipment (aircraft, cars, specialized military equipment). To conduct research on kinematic and dynamic characteristics, a digital layout of the platform has been developed – a parameterized 3D model in a CAD system. The platform represents a system with six degrees of mobility, which are implemented on the basis of a mechanism with a parallel structure. A description of a dynamic simulation model with six degrees of mobility developed using the MSC Adams software environment is given. The model is intended for research at the stage of design work in the development of simulators of various vehicles. The developed dynamic model was tested in order to implement a methodology for conducting research on the kinematic and dynamic characteristics of the platform based on simulation modeling. The results determining the capabilities of the model for determining the dynamic and force parameters in individual elements of the platform at the specified geometric parameters of the platform design are presented. The methodology of studying the digital layout of the platform by simulation modeling consisted in the execution

of the accepted trajectories by the model, taking into account the technical characteristics of the actuators. At the same time, certain dynamic indicators were recorded and processed. As a result, graphs of changes in velocities and accelerations of the center of mass, as well as force characteristics (the sum of forces applied to the body in the hinge) when performing the corresponding trajectories are constructed.

Keywords: dynamic model, simulation model, parallel kinematics mechanism, mobility platform, digital layout.

REFERENCES

1. Merlet J.-P., *Parallel Robots*, 2nd ed. Springer. 2007. Pp. 3–16.
2. Kong H., Gosselin C.M. *Type Synthesis of Parallel Mechanisms*. Berlin: Springer. 2007. 276 p. doi:10.1007/978-3-540-71990-8.
3. Churin V.V. The use of computer simulators for training workers in road-building professions [Ispol'zovaniye komp'yuternykh trenazherov dlya podgotovki rabochikh dorozhno-stroitel'nykh professiy]. *Young Scientist*. 2011. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 28–29. (rus)
4. Gabutdinov N.R., Glazunov V.A., Filippov D.N. Mechanisms of a parallel structure with six degrees of freedom, developed at the Institute of Mechanical Engineering. A.A. Blagonravov RAS [Mehanizmy parallelnoy struktury s shestju stepenyami svobody, razrabotannyye v Institute mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN]. *News of higher educational institutions. Engineering*. 2014. Vol. 7. Pp. 83–89. (rus)
5. Glazunov V.A., Briot S., Arakelyan V., Gruntovich M.M., Thanh N.M. Development of manipulation mechanisms of parallel-cross structure [Razrabotka manipulyacionnykh mekhanizmov parallel'no-perekrestnoy struktury]. *Problems of mechanical engineering and reliability of machines*. 2008. Vol. 2. Pp. 100–110. (rus)
6. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation. *Device Mechanism Design for Robotics*. 2021. Vol. 103. Pp. 217–225. doi:10.1007/978-3-030-75271-2_23
7. Sapunov E.A., Proshin I.A. Modeling of the drive of the dynamic stand of an aviation simulator [Modelirovaniye privoda dinamicheskogo stenda aviacionnogo trenazhera]. *Aerospace engineering*. 2011. Pp. 337–340. (rus)
8. Belyakova A.V., Savelyev B.V. Analysis of information models of simulators for training drivers of vehicles (review) [Analiz informacionnykh modelej trenazherov dlya obucheniya voditelej transportnykh sredstv (obzor)]. *Bulletin of SibADI*. 2019. Vol. 16(5). Pp. 558–571. (rus)
9. Rafael Balderas Hill, Sébastien Briot, Abdelhamid Chriette, Philippe Martinet. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. *RoManSy 2020 - 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control*, Sep 2020, Sapporo/Virtual, Japan.
10. Rybak L., Khalapyan S., Gaponenko E. Issues of planning trajectory of parallel robots taking into account zones of singularity. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 2018. No. 327. 042092. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042092.
11. Liu X.-J., Wang J., Oh K.-K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2004. Vol. 39. Iss. 2. Pp. 209–225. doi: 10.1023/B: JINT.0000015403.67717.68.
12. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2015. Vol. 44. Iss. 7. Pp. 626–632. doi:10.1109/TRO.2004.833801
13. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M., Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator. *Proceedings of Workshop on 96 Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators (October 3–4, 2002, Quebec City, Quebec, Canada) 2002*. Pp. 12–15.
14. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures. *ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics*. 2019. Pp. 171–179. doi:10.1007/978-3-319-78963-7_23.
15. He J., Gu H., Wang Z. Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2013. Vol. 227. Iss. 1. Pp. 161–169. doi:10.1177/0954406212444508.

Information about the authors

Khurtasenko, Andrey V. PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukov, 46.

Chuev, Kirill V. Head. lab. Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: kirill.chuev@qmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukov, 46.

Rybak, Larisa A. DSc, Professor. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Skitova, Valeria M. Research Engineer, Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: Petrenko_Lera1995@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 01.12.2022

Для цитирования:

Хуртасенко А.В., Чуев К.В, Рыбак Л.А, Скитева В.М. Динамическая модель платформы с 6-ю степенями подвижности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 122–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133

For citation:

Khurtasenko A.V., Chuev K.V, Rybak L.A., Skitova V.M. Dynamic model of a platform with 6 degrees of mobility. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 122–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133