

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-96-106

*Дуюн И.А., Корнилов А.В., Дуюн Т.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: duyun77@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСА PYTHON-ADAMS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ПЛАТФОРМЫ ГЬЮ-СТЮАРТА

Аннотация. В статье представлена методика моделирования работы механизма параллельной структуры – роботизированной платформы Гью-Стюарта с использованием виртуального прототипа. В качестве инструментов моделирования применены программный пакет MSC Adams и высокоуровневый объектно-ориентированный язык программирования общего назначения Python. Цифровой макет, имеющий свойства параметризованной имитационной модели, построен в программном комплексе MSC Adams. Язык программирования Python использован в качестве альтернативы внутреннему командному языку Adams View для создания и итерационного изменения объектов моделирования в Adams. Предложенная реализация интерфейса Python-Adams в виде специальных процедур и функций автоматизирует выполнение вычислительного эксперимента и позволяет решать задачу оптимизации конструктивных элементов и нахождения оптимального геометрического исполнения гексапода в соответствии с выбранными критериями оптимальности посредством проведения серий экспериментов, заключающихся в последовательном многократном изменении геометрических параметров, последующей симуляции модели и анализа результатов с целью нахождения вариантов конструкции, удовлетворяющих заданным критериям. Методика опробована на примере оптимизации диаметра платформы по критерию минимизации затрачиваемых усилий при движении по заданной траектории. Представлены также результаты вычислительного эксперимента по определению динамических параметров (сил, моментов сил) в элементах конструкции при движении платформы по сложной траектории, выявлению нежелательных положений, в которых возникают пиковые нагрузки.

Ключевые слова: оптимизация конструкции, манипуляторы параллельной структуры, виртуальный прототип, имитационное моделирование, кинематические характеристики, платформа Гью-Стюарта.

Введение. В современных отраслях производства все чаще применяются механизмы, использующие параллельную кинематику. Особенностью этих механизмов является подвижное выходное звено, соединенное с неподвижным основанием несколькими кинематическими цепями, параллельно передающими движение. Одним из этапов развития механизмов параллельной структуры является создание платформы Гью-Стюарта [1], позволяющей осуществлять перемещение платформы относительно основания по шести независимым координатам с помощью приводов линейных перемещений, что послужило предпосылкой для появления нового термина “Гексапод”. Гексаподы получили в последнее время достаточно широкое распространение, в первую очередь это роботизированные подвижные платформы (РПП) с кинематическими цепями по параллельной схеме, используемые в системах позиционирования инструмента в машиностроении и медицине, в тренажерах летательных аппаратов и боевой техники, для ориентации телескопов и антенн. Перспективность применения таких механизмов определяется широким спектром возможностей для решения технических задач. РПП, построенные на основе меха-

низмов с параллельной кинематикой, могут обеспечивать следующие типы эксплуатационных задач: испытания высокотехнологичного оборудования и отдельных его компонентов; использование в качестве подвижных оснований в симуляторах для управления техникой (автомобили, самолеты, специализированная техника); создание специализированных устройств для удержания в заданном положении при движении различных приборов и исполнительных устройств. Применение механизмов с параллельной структурой достаточно эффективно реализовано в некоторых тренажерах, имитирующих процессы управления мобильными техническими средствами, где в качестве главных приводных устройств реализованы 6-ти степенные системы позиционирования (гексапод, платформа Стюарта, Hexapod, D. Stewart Platform).

Широкое применение РПП параллельной структуры обусловлено конструктивными особенностями, обеспечивающими ряд эксплуатационных преимуществ: простота элементов механизма и их сборки, высокая жесткость конструкции, малый вес и низкая металлоёмкость при сравнимой жесткости, способность манипулировать большими нагрузками, повышенная точ-

ность перемещения и позиционирования, хорошие динамические характеристики, большие скорости и ускорения, возможность простого масштабирования схемы устройства. Параллельные механизмы имеют также и недостатки: сравнительно небольшая рабочая область, наличие особых положений, в которых происходит потеря управляемости, нелинейная зависимость кинематики и динамики от точки рабочей области, сложность системы управления, возможность интерференции опор.

Эффективная реализация технических задач при использовании РПП параллельной структуры в различных областях послужила толчком для множества исследований, направленных на сохранение преимуществ при снижении или нивелировании недостатков этих механизмов [2–18]. Можно выделить следующие основные задачи, решаемые исследователями в этой области:

- проработка и оптимизация структурной компоновки, определение возможностей и условий применения определенного типоразмера для различных эксплуатационных задач при проектировании новых конструктивных исполнений [2–5];

- определение возможностей применения определенного типоразмера платформы в соответствии с граничными значениями параметров её приводных звеньев для отработки заданных геометрических параметров траектории, например, предельно допустимых перемещений исполнительного органа в заданных направлениях [6, 7];

- разработка и изучение законов управления перемещениями в приводных звеньях (электро-

цилиндрах) в соответствии с заданной траекторией перемещения конечного звена (обратная задача кинематики) [8–12];

- тестирование системы управления с целью проверки требуемых траекторий перемещения выходного звена (исполнительного устройства или перемещаемого объекта), определение точности позиционирования [13];

- кинематический, динамический и силовой анализ механизма, разработка алгоритмов определения множества достижимых положений платформы при формировании ее рабочей зоны [14–18].

Для решения указанных научных задач исследователи применяют математические модели и различные аналитические методы [2, 6–9, 14, 17, 18], физические модели и лабораторные стенды [12, 14], а также прикладные программные средства [3, 5, 10–12, 16, 19, 20], которые открывают широкие возможности исследования и моделирования кинематических и динамических параметров механизмов. Данная работа является продолжением этого направления, а в качестве прикладных программных средств предлагается использовать Python и Adams.

Основная часть. Объектом исследования является платформа Гью-Стюарта, представляющая собой шестиосевую конструкцию, имеющую шесть степеней свободы. Движение платформы реализуется с помощью шести телескопически связанных пар звеньев, соединенных посредством сферических шарниров с подвижной платформой и неподвижным основанием. Типовое строение платформы приведено на рис. 1, конструкция включает следующие основные компоненты: основание 1, подвижная платформа 2, электроцилиндры (ЭЦ) 3, шарниры 4.

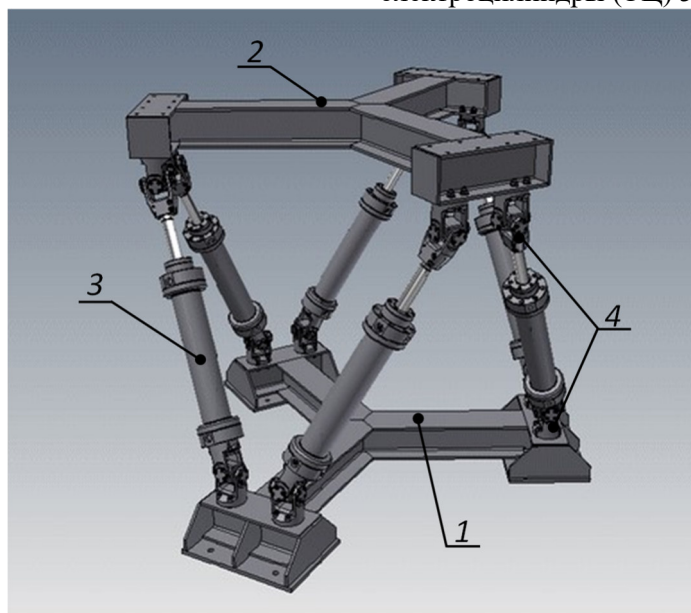


Рис. 1. Конструкция платформы Гью-Стюарта, основные механические компоненты: 1 – основание; 2 – подвижная платформа; 3 – электроцилиндры, 4 – шарниры

Исследуемая роботизированная платформа подвижности предназначена для тренажеров и симуляторов в авиационной и ракетно-космической отрасли. Технические характеристики и кинематические параметры, соответствующие функциональному назначению, представлены в

таблицах 1 и 2. Требуемые эксплуатационные параметры положены в основу при создании твердотельной модели: габаритные размеры, размеры базовых элементов, величина хода ЭЦ, расположение опор (шарниров), начальное угловое положение оси ЭЦ, пространственное положение центра масс.

Таблица 1

Технические характеристики РПП

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Ширина	мм	1855
Длина	мм	1654
Высота	мм	1385
Вес	кг	550
Ход штока ЭЦ	мм	200
Полезная нагрузка	кг	987

Таблица 2

Параметры кинематики РПП

Наименование параметра	Перемещение	Скорость	Ускорение
Продольное перемещение	-110 .. +120 мм	0,66 м/с	6,5 м/с ²
Боковое перемещение	-110 .. +110 мм	0,66 м/с	6,5 м/с ²
Вертикальное перемещение	-110 .. +110 мм	0,66 м/с	6,5 м/с ²
Крен	-10°..+10°	38°/с	300°/с ²
Тангаж	-10°..+10°	38°/с	300°/с ²
Рыскание	-10°..+10°	38°/с	300°/с ²

Для имитационного моделирования кинематических и динамических параметров, характеризующих эксплуатационные условия под действием рабочих нагрузок разработан виртуальный прототип роботизированной платформы, представленный на рис. 2. Цифровой макет, имеющий свойства параметризованной имитационной модели создан в программном комплексе

MSC Adams и состоит из 14 основных идеализированных элементов (деталей): основание, подвижная платформа, шесть штоков и гильз. Данные элементы соответствуют приведенным в таблицах 1 и 2 геометрическим и функциональным параметрам рассматриваемой конструкции РПП.

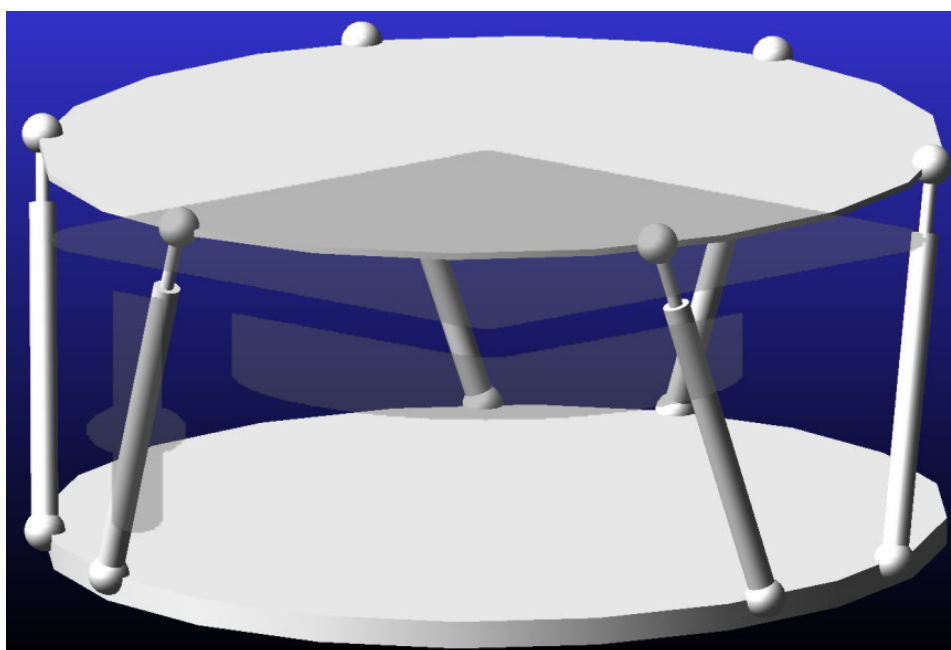


Рис. 2. Цифровая имитационная модель РПП, выполненная в MSC Adams

Для управления параметризованной моделью с возможностью ее автоматизированного перестроения в MSC Adams использовался интерфейс высокоуровневого объектно-ориентированного языка программирования общего назначения Python. Язык программирования Python применен в качестве альтернативы внутреннему командному языку Adams View для создания и итерационного изменения объектов моделирования в Adams. Интерфейс Adams Python представляет собой интерфейс прикладного программирования, который позволяет взаимодействовать с Adams, используя объектно-ориентированную структуру, в которой каждая сущность в Adams сопоставляется с классом в Python, имеющим свойства и методы.

Выбор Python обусловлен возможностью решать поставленную задачу оптимизации конструктивных элементов и нахождения оптимального геометрического исполнения гексапода в соответствии с выбранными критериями оптимальности посредством проведения серий экспериментов, заключающихся в последовательном многократном изменении геометрических параметров, последующей симуляции модели и анализа результатов с целью нахождения вариантов конструкции, удовлетворяющих заданным критериям. Использование Python позволяет автоматизировать каждый из описанных шагов вычислительного эксперимента с помощью использования специальных процедур и функций, при этом программная реализация исключает необходимость трудоемкого выполнения перечисленных манипуляций вручную. Таким образом, применение Python позволяет существенно повысить результативность проведения вычислительного эксперимента за счет замены ручных манипуляций создания и перестроения твердотельных элементов в Adams автоматизированными программными процедурами, сокращая трудоемкость, повышая произвольность процесса и количество возможных вычислительных симуляций.

Для реализации вышеописанной задачи были разработаны следующие специальные процедуры и функции:

- процедура FindPoint для определения координат точек сопряжения электроцилиндров с основанием и столом, которая задает координаты соответствующих точек в полярной системе координат;

- процедура CreateModel для создания модели гексапода в AdamsView, в которой с помощью интерфейса Adams Python вызываются необходимые процедуры для создания компонентов модели;

- процедура ChangeModel для изменения геометрических параметров модели, в которой

выполняется пересчет геометрических параметров, таких как расположение (Location) и ориентация (Orientation) для всех компонентов модели, имеющих данные свойства;

- функция Simulations (qt, number_of_steps, end_time) для выполнения вычислительного эксперимента, связанного с множественными изменениями конструкции и последующими симуляциями, которая принимает на вход необходимые параметры: qt – требуемое количество симуляций, number_of_steps – количество шагов в симуляции, влияющее на точность и быстродействие процесса симуляции, end_time – конечное время симуляции. В данной функции в цикле размером qt выполняются необходимые для эксперимента изменения геометрических параметров, перестроение модели (ChangeModel) и выполнение непосредственно симуляции с помощью соответствующего вызова команды интерфейса Adams Python. Функция возвращает кортеж, состоящий из трех массивов результатов, включающий амплитудные и средние значения параметра, относительно которого выполняется оптимизация, а также массив геометрических значений;

- процедура AnalisesOfRes использует выходные параметры функции Simulations для анализа результатов вычислительного эксперимента и выполнения поиска симуляций, соответствующих исследуемым геометрическим параметрам модели по заданным критериям оптимальности. Результаты анализа выводятся в командную строку Adams.

Для имитации реальных конструктивных сопряжений РПП использованы следующие специальные программные операторы приложения Adams: основание (Base) зафиксировано на Ground при помощи FixedJoint, крепление гильзы к основанию выполнено посредством SphericalJoint, аналогично сопряжены штоки ЭЦ с рабочей поверхностью платформы. Для имитации движения электроцилиндра гильза и шток связаны между собой в точках контакта сопряжением TranslationalJoint. В качестве внешних сил заданы сила тяжести, направленная вертикально вниз (по направлению оси – OY) и полезная нагрузка, приложенная в точке центра масс, который задан в соответствии с требованиями проектируемого промышленного образца РПП.

В качестве имитации движения РПП в шести цилиндрических шарнирах созданы поступательные движения при помощи программного оператора TranslationJointMotion, реализующего в приложении MSC Adams установленные законы линейного перемещения. Зависимость перемещения от времени может быть задана при помощи математической функции или специальной функ-

ции STEP. Функция STEP аппроксимирует идеальную математическую кусочно-заданную функцию, но без разрывов. Синтаксис функции STEP: STEP (q, q_1, f_1, q_2, f_2), где: q – независимая

$$\text{step}(\text{time}, t_0, l_0, t_n, l_k) \cdot l + \text{step}(\text{time}, t_n, l_k, t_m, l_p) \cdot l + \dots, \quad (1)$$

где time – независимая переменная (время); t_0 – начальное значение времени для 1 участка; t_n – конечное значение времени для 1-го участка и начальное значение времени для 2-го участка; t_m – конечное значение времени для 2-го участка; l_0, l_k, l_p – начальные и конечные значения перемещения штока электроцилиндра, $-1 \geq l_0, l_k, l_p \leq 1$; l – максимальное значение перемещения штока электроцилиндра.

Результаты. Для проверки работоспособности методики моделирования и правильности взаимодействия программных модулей первоначально был проведен тестовый вычислительный эксперимент. В качестве тестируемого рабочего движения принято вертикальное движение подвижной платформы вдоль оси OY из исходного положения. Для осуществления движения по данной траектории для каждого цилиндрического шарнира созданы поступательные движения с функцией $\text{Motion} = 0,2 \cdot \text{Sin}(\text{time})$, где

переменная q_1 – начальное значение для q ; f_1 – начальное значение для f ; q_2 – конечное значение для q ; f_2 – конечное значение для f .

коэффициент равный 0,2 м определяет ход штока. На рисунке 3 представлен график изменения величины выдвигания одного из штоков во времени. В качестве оптимизируемого параметра принят диаметр стола с учетом конструктивного ограничения максимального габаритного размера при постоянном диаметре основания. В качестве критерия оптимальности выбрана минимизация затрачиваемых усилий на осуществление движения. Для выбора вариантов, удовлетворяющих заданному критерию оптимальности, исследовались амплитудные и средние значения силы, возникающие в шарнирах при осуществлении движения. Для объективности анализа влияния соотношения диаметра стола к диаметру основания на развиваемые усилия в шарнирах сопряжения электроцилиндров, приняты попарно одинаковые углы пространственного расположения шарниров основания и стола, заданные в полярных координатах.

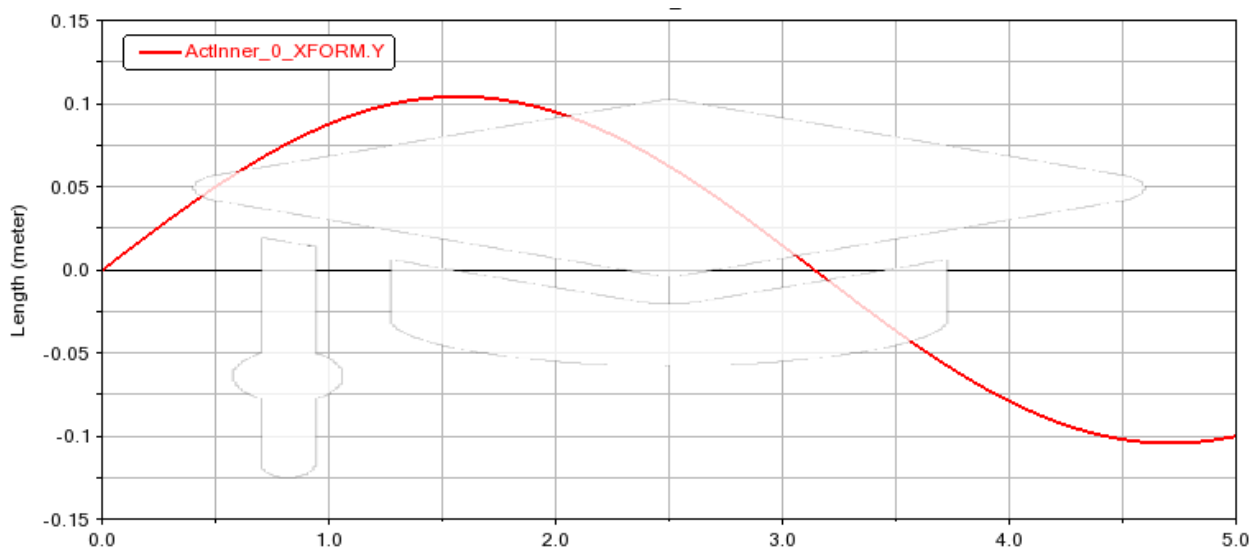


Рис. 3. График изменения величины выдвигания штока от времени, м

Таким образом, исследовалось влияние соотношения диаметра стола к диаметру основания на развиваемые усилия. Вычислительный эксперимент заключается в инициализации заданного количества симуляций, отличающихся геометрическими параметрами модели, и анализе влияния изменения этих параметров на заданный критерий оптимальности. Вычислительный эксперимент проводился при следующих условиях: диапазон изменения радиуса стола $0,25 \cdot 827 - 1,75 \cdot 827$ мм, количество симуляций $qt100$, шаг изменения радиуса стола 8,27 мм.

На рис. 4 изображены твердотельные модели первой и последней симуляций. Время проведения вычислительного эксперимента составило 15 секунд, что является достаточно хорошим результатом, учитывая количество моделируемых случаев, следовательно, компоненты программных модулей взаимодействуют эффективно. На рис.5 представлен график изменения во времени возникающей при движении штока реакции силы в шарнире гидроцилиндра, соответствующий величине выдвигания штока рис. 3.

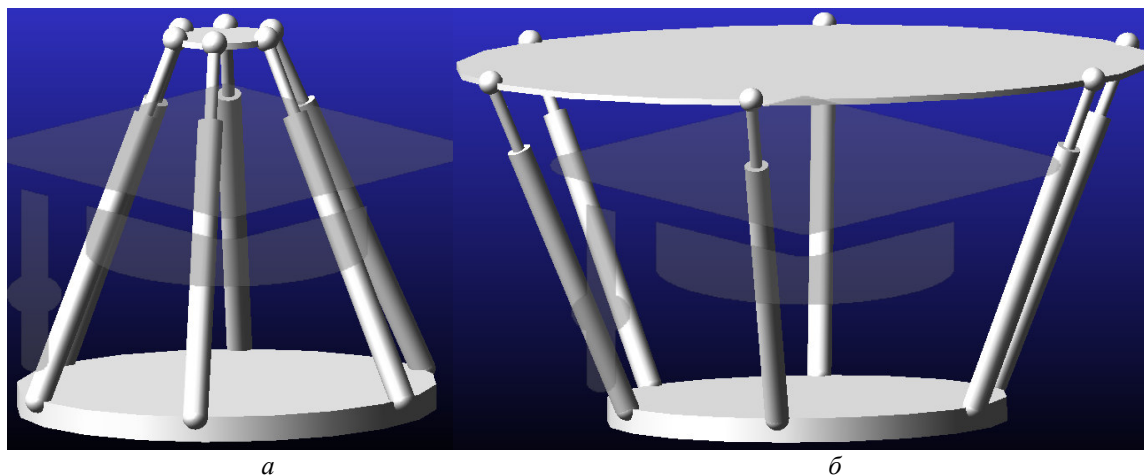


Рис. 4. Твёрдотельные модели вычислительного эксперимента:
а – первая симуляция, б – последняя симуляция

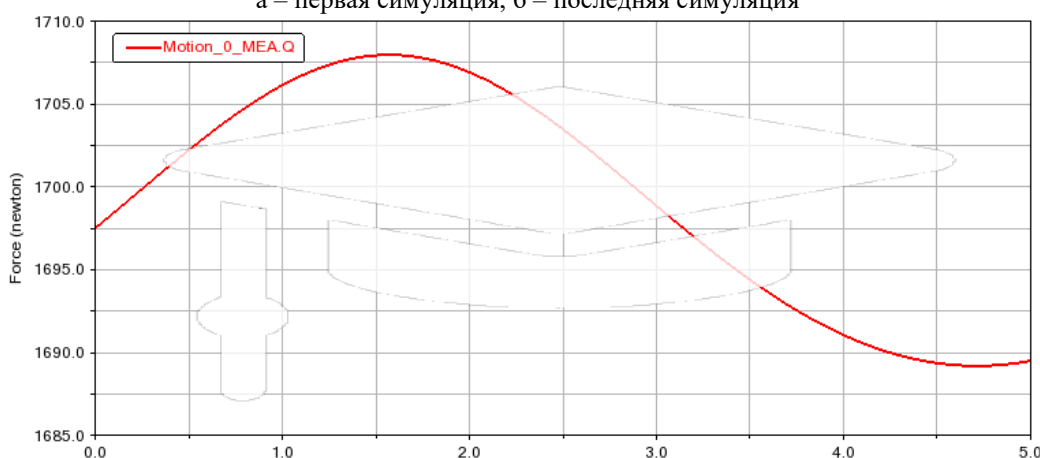


Рис. 5. График изменения возникающей реакции силы в шарнире гидроцилиндра, Н

В таблице 3 представлены результаты анализа параметров симуляций по критерию оптимальности: шесть симуляций с наименьшими значениями амплитудных сил, шесть симуляций с наименьшими значениями средних сил и для сравнения одна симуляция с наихудшими значениями амплитудных и средних сил. Как видно,

максимальные силовые параметры возникают при минимальном размере стола (диаметр 219, симуляция № 1) и достигают минимальных значений по мере приближения к размеру стола, равному основанию (диаметр 827, симуляции №50).

Таблица 3

Результаты анализа параметров симуляций по критерию оптимальности

№ симуляции	Радиус стола (подвижной платформы), мм	Амплитудное значение силы, Н	Среднее значение силы, Н
1	219	5347	1774
49	815	–	1613,30
50	827	3226,23	1613,20
51	839	3226,47	1613,24
52	852	3226,65	1613,30
53	864	3227,18	1613,50
54	877	3228,07	1613,90
55	889	3229,31	–

Полученные результаты соответствуют известным физическим законам и традиционным представлениям в области теоретической механики, кинематики и динамики механизмов. Следовательно, предложенная методика может ис-

пользоваться для более сложных задач, например, исследования динамических параметров (сил, моментов сил) в элементах конструкции при движении платформы по сложной траектории с приложенной полезной нагрузкой, опреде-

ления нежелательных положений, в которых возникают потери устойчивости или управляемости, пиковые нагрузки, значения которых превышают максимальные по конструктивным ограничениям. На рис. 6–8 представлены результаты определения одного из таких нежелательных положений: рисунок 6 демонстрирует состояние платформы в одном из крайних конструктивных положений, что подтверждается возникновением пиковых нагрузок в конструктивных элементах на 8 секунде отработки траектории (рис. 6, 7). Вычислительный эксперимент выполнялся по описанной выше методике взаимодействия

Python и Adams, а для нахождения рабочей зоны использовался итерационный метод. Из исходного положения платформы симулировалась сложная траектория движения в пространстве, охватывающем все конструктивно возможные положения рабочего органа. Нежелательные положения находились программно в случае возникновения ошибки симуляции, связанной с нарушением наложенных ограничений. Рабочая зона формировалась также программно путем исключения выявленных нежелательных положений из исходного пространства.

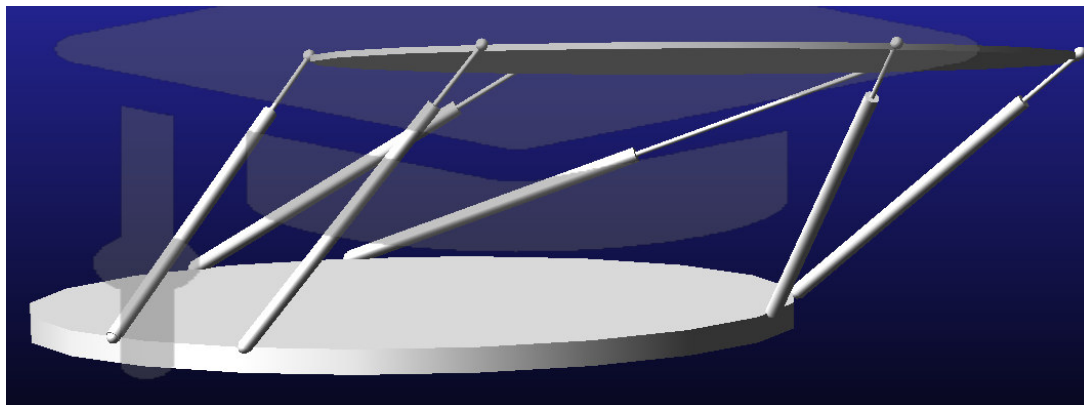


Рис. 6. Состояние платформы в момент возникновения программной ошибки (нежелательного положения)

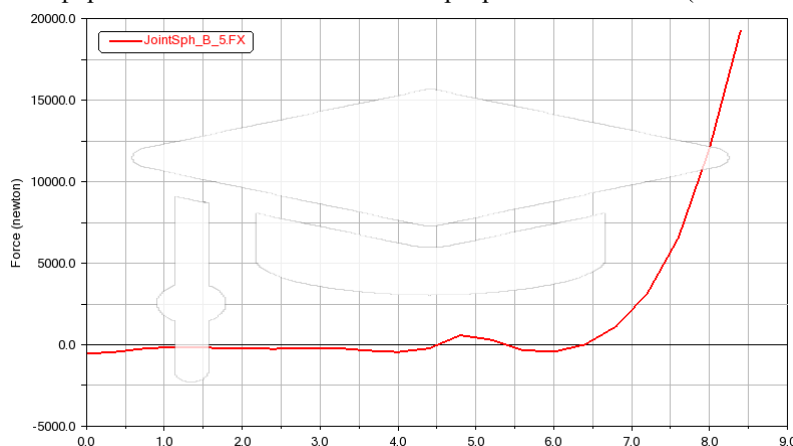


Рис. 7. Сила, возникающая в сферическом шарнире

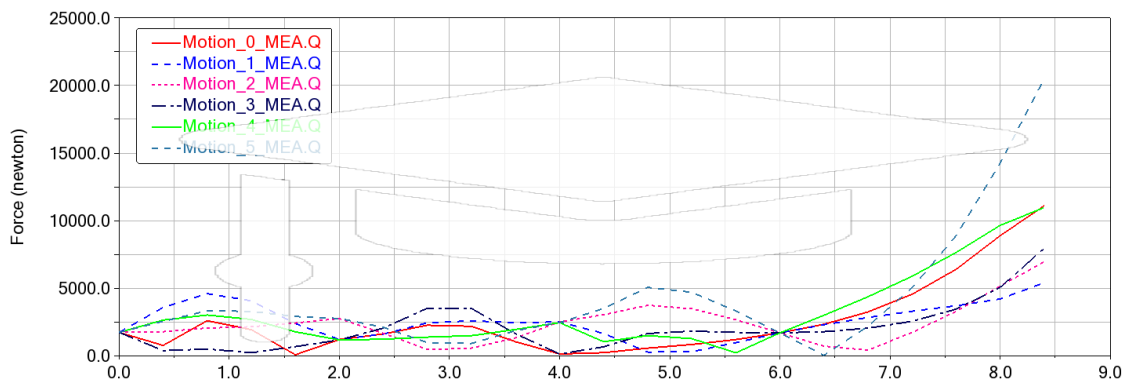


Рис. 8. Силы, возникающие в приводах актуаторов

Выводы. Имитационное моделирование кинематических и динамических параметров РПП посредством применения программного обеспечения MSC Adams в комбинации взаимодействия

с объектно-ориентированным языком программирования общего назначения Python, имеет следующие преимущества: позволяет анализировать

различные конструктивные исполнения, выдвигать и проверять гипотезы относительно геометрических параметров исследуемой модели, выявлять оптимальные варианты. Предложенная методика будет эффективна также при решении более сложных задач, например, определения рабочей зоны, выявления особых положений, сопровождающихся неустойчивой кинематикой и пиковыми нагрузками. Представленный подход применим в рамках разработки, модернизации, оптимизации конструктивных элементов РПП, а также разработки систем управления движением.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение №075-11-2021-060 от 24.06.2021 г. «Создание высокотехнологичного производства роботизированных 6DOF платформ подвижности для тренажеров и симуляторов для авиационной и ракетно-космической отрасли» (уникальный номер 000000S407521QLB0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Gough V.E. Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance // *Proceeding of Institute of Mechanical Engineering*. 1956. Vol 57. Pp. 392–394.
- Алюшин Ю.А., Еленев С.А., Шептунов С.А. Математическая модель движения платформы Стюарта // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2010. № 4. С. 57–67.
- Боюнова Е.М., Палочкин С.В. Моделирование структуры механизма на базе платформы Стюарта в среде Mathcad // *Известия Орловского государственного технического университета*. Серия: Информационные системы и технологии. 2016. № 6-1. С. 70–73.
- Лопатин А.А. Разбор механизмов с шестью степенями свободы и практического применения на примере платформы Гью-Стюарта // *Современные проблемы теории машин*. 2020. № 9. С. 33–36. doi: 10.26160/2307-342X-2020-9-33-36.
- Волкоморов С.В., Карпенко А.П., Лелетко А.М. Оптимизация угловых и линейных размеров одно- и двухсекционного манипуляторов параллельной кинематики // *Наука и образование*. 2010. № 8. С. 1–22.
- Леонов Г.А., Зегжда С.А., Зуев С.М. Динамика платформы Стюарта и управление ее движением // *Доклады академии наук*. 2014. Т. 458. №1. С. 36–41. doi: 10.7868/S0869565214250094
- Воробьев А.Н., Гебель Е.С. Прямая и обратная позиционная задача платформы Гью-Стюарта с шестью степенями свободы // *Современные материалы, техника и технологии*. 2016. № 2(5). С. 69–73.
- Кешткар С., Позняк А.С., Хернандес Э., Оропеса А. Адаптивный регулятор на скользящих режимах, основанный на «супер-твист» наблюдателе состояний с применением к регулированию платформы Стюарта // *Автоматика и телемеханика*. 2017. №7. С. 57–75.
- Гапоненко Е.В., Чичварин А.В., Рыбак Л.А. Синтез многосвязного цифрового регулятора роботизированной виброзащитной платформой на основе Н-оптимизации // *Автоматика и телемеханика*. 2018. № 7. С. 99–116. doi: 10.31857/S000523100000269-9
- Грешняков П.И. Совершенствование пневматической системы управления платформы Стюарта // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета)*. 2016. Т. 15. № 1. С. 151–162. doi: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-151-162.
- Сейдахмет А.Ж., Абдураимов А.Е., Камал А.Н. Использование обратной кинематики и системы Matlab для управления рычажной платформой Стюарта // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. № 8. С. 216–220.
- Ермилов Г.С. Разработка систем управления тренажера на основе платформы Стюарта // *Colloquium-Journal*. 2020. № 12-1 (64). С. 11–21. doi: 10.24411/2520-6990-2020-11786.
- Кольцов А.Г., Блохин Д.А., Хабаров А.В. Влияние кинематических характеристик платформы Стюарта на точность перемещения измерительного механизма // *Динамика систем, механизмов и машин*. 2014. № 2. С. 296–299.
- Лапиков А.Л., Пашенко В.Н. Решение прямой задачи кинематики для платформы Гью-Стюарта с использованием аналитического уравнения плоскости // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014. № 4. С. 124–134. doi: 10.7463/0414.0706936.
- Сопин П.К., Гайнуллина Я.Н. Разработка конструкции стенда-симулятора на основе платформы Стюарта-Гауфа // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2015. № 5(313). С. 142–145.
- Танырбергенова К.И., Миргаликызы Т. Решение прямой и обратной задач управления кинематикой робота на примере платформы Стюарта // *Вестник казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. 2020. № 3(114). С. 334–341. doi: 10.52167/1609-1817-2020-114-3-334-341.
- Туктыбаева А.Е. Силовой анализ платформы Стюарта // *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2017. № 4-4(24). С. 82–88.

18. Войнов И.В., Телегин А.И., Тимофеев Д.Н. Векторный и скалярный виды уравнений для решения задач динамики платформы Стюарта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2016. Т. 16. № 4. С. 19–28. doi: 10.14529/ctcr160403.

19. Дуюн И.А., Чуев К.В. Оценка эффективности работы гибких производственных систем и

роботизированных комплексов с использованием имитационного моделирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 4. С. 91–100. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-91-100.

20. Чуев К.В., Дуюн И.А. Моделирование кинематических и динамических характеристик робота-манипулятора с использованием виртуального прототипа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 95–104. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-95-104.

Информация об авторах

Дуюн Иван Александрович, студент кафедры технической кибернетики. E-mail: duyun77@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Корнилов Андрей Викторович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой физики. E-mail: f@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения. E-mail: tanduun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 07.04.2022 г.

© Дуюн И.А., Корнилов А.В., Дуюн Т.А., 2022

***Duyun I.A., Kornilov A.V., Duyun T.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: duyun77@mail.ru*

EVALUATION OF KINEMATIC AND DYNAMIC PARAMETERS OF THE GOUGH-STEWART PLATFORM USING A VIRTUAL PROTOTYPE

Abstract. *The article presents a technique for modeling the operation of the parallel structure mechanism – the Gough-Stewart robotic platform using a virtual prototype. The MSC Adams software package and the high-level general-purpose object-oriented programming language Python are used as modeling tools. The digital layout, which has the properties of a parameterized simulation model, is built in the MSC Adams software package. The Python programming language is used as an alternative to the Adams View internal command language for creating and iteratively modifying modeling objects in Adams. The proposed implementation of the Python-Adams interface in the form of special procedures and functions automates the execution of a computational experiment. In addition, it allows solving the problem of optimizing structural elements, to find the optimal geometric design of the hexapod in accordance with the selected optimality criteria by conducting a series of experiments consisting in sequential multiple changes in geometric parameters, followed by simulation model and analysis of the results in order to find design options that meet the specified criteria. The technique is tested on the example of optimizing the diameter of the platform according to the criterion of minimizing the effort expended when moving along a given trajectory. The results of a computational experiment are also presented to determine the dynamic parameters (forces, moments of forces) in the structural elements when the platform moves along a complex trajectory, to identify undesirable positions in which peak loads occur.*

Keywords: *design optimization, parallel structure manipulators, virtual prototype, simulation modeling, kinematic characteristics, Gough-Stewart platform.*

REFERENCES

1. Gough V.E. Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance. Proceeding of Institute of Mechanical Engineering 1956. Vol 57. Pp. 392–394.

2. Alyushin Yu.A., Elenev S.A., Sheptunov S.A. Mathematical model of Stewart platform motion [Matematicheskaya model' dvizheniya platformy Styuarta]. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2010. No. 4. Pp. 57–67. (rus)

3. Boyunova E.M., Palochkin S.V. Modeling the mechanism structure based on the Stewart platform in the Mathcad environment [Modelirovanie struktury mekhanizma na baze platformy Styuarta v srede Mathcad]. News of the Oryol State Technical University. Series: Information systems and technologies. 2016. No. 6-1. Pp. 70–73. (rus)
4. Lopatin A.A. Parsing of mechanisms with six degrees of freedom and practical application on the example of the Gew-Stewart platform [Razbor mekhanizmov s shest'yu stepenyami svobody i prakticheskogo primeneniya na primere platformy G'yu-Styuarta]. Modern problems of machine theory. 2020. No. 9. Pp. 33–36. doi: 10.26160/2307-342X-2020-9-33-36. (rus)
5. Volkomorov S. V., Karpenko A. P., Leletko A. M. Optimization of angular and linear dimensions of one- and two-section manipulators of parallel kinematics [Optimizaciya uglovyh i linejnyh razmerov odno- i dvuhsekcionnogo manipulyatorov paralel'noj kinematiki]. Science and education. 2010. No. 8. Pp. 1–22. (rus)
6. Leonov G.A., Zegzhda S.A., Zuev S.M. Dynamics and control of the Stewart platform [Dinamika platformy Styuarta i upravlenie ee dvizheniem]. Doklady Physics. 2014. Vol. 458. No. 1. Pp. 36–41. doi: 10.7868/S0869565214250094. (rus)
7. Vorob'ev A.N., Gebel' E.S. Direct and inverse positional problem of the Hugh-Stewart platform with six degrees of freedom [Pryamaya i obratnaya pozicionnaya zadacha platformy G'yu-Styuarta s shest'yu stepenyami svobody]. Modern materials, equipment and technologies. 2016. No. 2(5). Pp. 69–73. (rus)
8. Keshtkar S., Poznyak A.S., Hernandez E., Oropeza A. Adaptive sliding-mode controller based on the "super-twist" state observer for control of the Stewart platform [Adaptivnyj regulyator na skol'zyashchih rezhimah, osnovannyj na «super-twist» nablyudatele sostoyanij s primeneniem k regulirovaniyu platformy Styuarta]. Automation and Remote Control. 2017. No. 7. Pp. 57–74. (rus)
9. Gaponenko E.V., Chichvarin A.V., Rybak L.A. Synthesis of a multi-connected digital controller for a robotized vibration isolation platform based on H-optimization [Sintez mnogosvyaznogo cifrovogo regulyatora robotizirovannoj vibrozashchitnoj platformoj na osnove N-optimizacii]. Automation and telemechanics. 2018. No. 7. Pp. 99–116. doi: 10.31857/S000523100000269-9. (rus)
10. Greshnyakov P.I. Stewart platform pneumatic control system development and characteristic research [Sovershenstvovanie pnevmaticheskoy sistemy upravleniya platformy Styuarta]. Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University). 2016. Vol. 15. No. 1. Pp. 151–162. doi: 10.18287/2412-7329-2016-15-1-151-162. (rus)
11. Seydakhmet A.Z., Abduraimov A.E., Kamal A.N. Using the inverse kinematics and the matlab system for controlling the Stewart platform [Ispol'zovanie obratnoj kinematiki i sistemy Matlab dlya upravleniya rychazhnoj platformoj Styuarta]. International journal of applied and fundamental research. 2017. No. 8. Pp. 216–220. (rus)
12. Ermilov G.S. Development of simulator management systems based on the Stewart platform [Razrabotka sistem upravleniya trenazhera na osnove platformy Styuarta]. Colloquium-Journal. 2020. No. 12-1 (64). Pp. 11–21. doi: 10.24411/2520-6990-2020-11786. (rus)
13. Kolcov A.G., Blohin D.A., Habarov A.V. Influence of the kinematic characteristics of the Stuart platform on the accuracy of movement of the measuring mechanism [Vliyanie kinematicheskikh harakteristik platformy Styuarta na tochnost' peremeshcheniya izmeritel'nogo mekhanizma]. Dynamics of systems, mechanisms and machines. 2014. No. 2. Pp. 296–299. (rus)
14. Lapikov A.L., Pashchenko V.N. Solution of the direct problem of kinematics for the platform Hugh-Stewart using the analytical equation of the plane [Reshenie pryamoj zadachi kinematiki dlya platformy G'yu-Styuarta s ispol'zovaniem analiticheskogo uravneniya ploskosti]. Science and education: scientific edition of MSTU im. N.E. Bauman. 2014. No. 4. Pp. 124–134. doi: 10.7463/0414.0706936. (rus)
15. Sopin P.K., Gaynullina Ya.N. Design booth-simulation based on the Stewart-Gough platform [Razrabotka konstrukcii stenda-simulyatora na osnove platformy Styuarta-Gaufa]. Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2015. No. 5(313). Pp. 142–145. (rus)
16. Tanyrbergenova K.I., Mirgalikyzy T. Solution of direct and inverse problems of robot kinematics control on the example of Stuart's platform [Reshenie pryamoj i obratnoj zadach upravleniya kinematikoj robota na primere platformy Styuarta]. Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications. M. Tynyshpaeva. 2020. No 3(114). Pp. 334–341. doi: 10.52167/1609-1817-2020-114-3-334-341. (rus)
17. Tuktybaeva A.E. Force analysis of the Stewart platform [Silovoj analiz platformy Styuarta]. Actual scientific research in the modern world. 2017. No. 4-4(24). Pp. 82–88. (rus)
18. Voynov I.V., Telegin A.I., Timofeev D.N. Vector and scalar equations types to solve problems of the dynamics of the Stewart platform [Vektornyj i skalyarnyj vidy uravnenij dlya resheniya zadach dinamiki platformy Styuarta]. Bulletin of the South

Ural State University. Series: computer technology, control, radio electronics. 2016. Vol. 16. No. 4. Pp. 19–28. doi: 10.14529/ctcr160403. (rus)

19. Duyun I.A., Chuev K.V. Estimation of the efficiency of flexible production systems and robotic complexes using simulation [Ocenka effektivnosti raboty gibkikh proizvodstvennykh sistem i robotizirovannykh kompleksov s ispol'zovaniem imitacionnogo modelirovaniya]. Bulletin of BSTU named after

V.G. Shukhov. 2021. Vol. 6. No. 4. Pp. 91–100. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-91-100. (rus)

20. Chuev K.V., Duyun I.A. Simulation of kinematic and dynamic characteristics of a robot manipulator using a virtual prototype [Modelirovanie kinematicheskikh i dinamicheskikh harakteristik robota-manipulyatora s ispol'zovaniem virtual'nogo prototipa]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. Vol. 6. No. 5. Pp. 95–104. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-95-104. (rus)

Information about the authors

Duyun, Ivan A. Student. E-mail: duyun77@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kornilov, Andrey V. Candidate of Engineering Sciences. E-mail: f@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Duyun, Tatyana A. Doctor of Engineering Sciences. E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 07.04.2022

Для цитирования:

Дуюн И.А., Корнилов А.В., Дуюн Т.А. Применение интерфейса Python-Adams для моделирования работы платформы Гью-Стюарта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 96–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-96-106

For citation:

Duyun I.A., Kornilov A.V., Duyun T.A. Evaluation of kinematic and dynamic parameters of the gough-stewart platform using a virtual prototype. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 10. Pp. 96–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-10-96-106