

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/143TVN617.pdf>

Статья опубликована 17.01.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Лапиков А.Л., Масюк В.М., Орехов С.Ю. Анализ основных проблем при решении обратной задачи о положении многосекционных механизмов параллельной структуры и пути их решения // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/143TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 621.86/.87**

**Лапиков Антон Леонидович**

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга<sup>1</sup>  
Ассистент кафедры М6-КФ «Мехатроника и робототехника»  
E-mail: anton.lapikov@inbox.ru  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=801711](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=801711)

**Масюк Владимир Михайлович**

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга  
Доцент кафедры М6-КФ «Мехатроника и робототехника»  
Кандидат физико-математических наук  
E-mail: masyuk77@mail.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3543-2781>  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=110211](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=110211)  
Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7801670833>

**Орехов Сергей Юрьевич**

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга  
Ассистент кафедры М6-КФ «Мехатроника и робототехника»  
E-mail: Serg31057@mail.ru  
РИНЦ: [http://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=914762](http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=914762)

**Анализ основных проблем при решении обратной задачи о положении многосекционных механизмов параллельной структуры и пути их решения**

**Аннотация.** Исследования данной работы посвящены решению обратной задачи о положении многосекционных механизмов параллельной структуры, анализу проблем, характерных именно для многосекционных механизмов, предложен оригинальный подход к их решению.

Идея предложенного метода состоит в том, чтобы, не изменяя классическую постановку обратной задачи о положении, обойти проблему бесконечного числа вариантов набора

---

<sup>1</sup> 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2

обобщенных координат, которым соответствует определенная конфигурация механизма. Данная задача является актуальной, анализ литературы [1-8] показал, что в настоящее время не существует однозначных подходов к решению таких задач.

Предложен алгоритм автоматического синтеза конфигурации с использованием исключительно данных о положении выходного звена многосекционного манипулятора, выделены основные подзадачи, указано, что одним из вариантов решения обратной задачи о положении является введение дополнительных ограничений и, соответственно, можно ввести класс пространственных параметрических кривых, лежащих внутри рабочей области манипулятора. Приведены характеристики требуемых классов кривых, показано, что расположение точек выходного звена каждой секции многосекционного механизма может быть расположено на указанной кривой, что эквивалентно наложению ограничений на конфигурацию механизма.

Итогом исследований можно считать разработку алгоритма формирования данных для каждой секции и базового алгоритма решения обратной задачи о положении на примере построения кривой Безье. Приведены результаты численного моделирования, сделаны выводы.

**Ключевые слова:** механизмы параллельной структуры; кинематическая цепь; обратная задача о положении

## Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к робототехническим устройствам, является требование максимальной жесткости конструкции. Соблюдение данного требования упрощает проектирование силовой подсистемы, повышает конечную точность позиционирования. Оптимальным образом данное требование решается структурным подходом: строить многосекционные механизмы параллельной структуры (ММПС), которые представляют собой модифицированные фермы переменной геометрии, информацию и теоретические выкладки о которых можно найти в работах [9, 10]. Многосекционность механизмов позволяет значительно расширить рабочую зону, подвижность и маневренность по сравнению с односекционными механизмами параллельной структуры за счет увеличения числа степеней свободы, однако при использовании такого подхода возникает ряд проблем, основная из которых – сложность управления и неопределенность траектории движения.

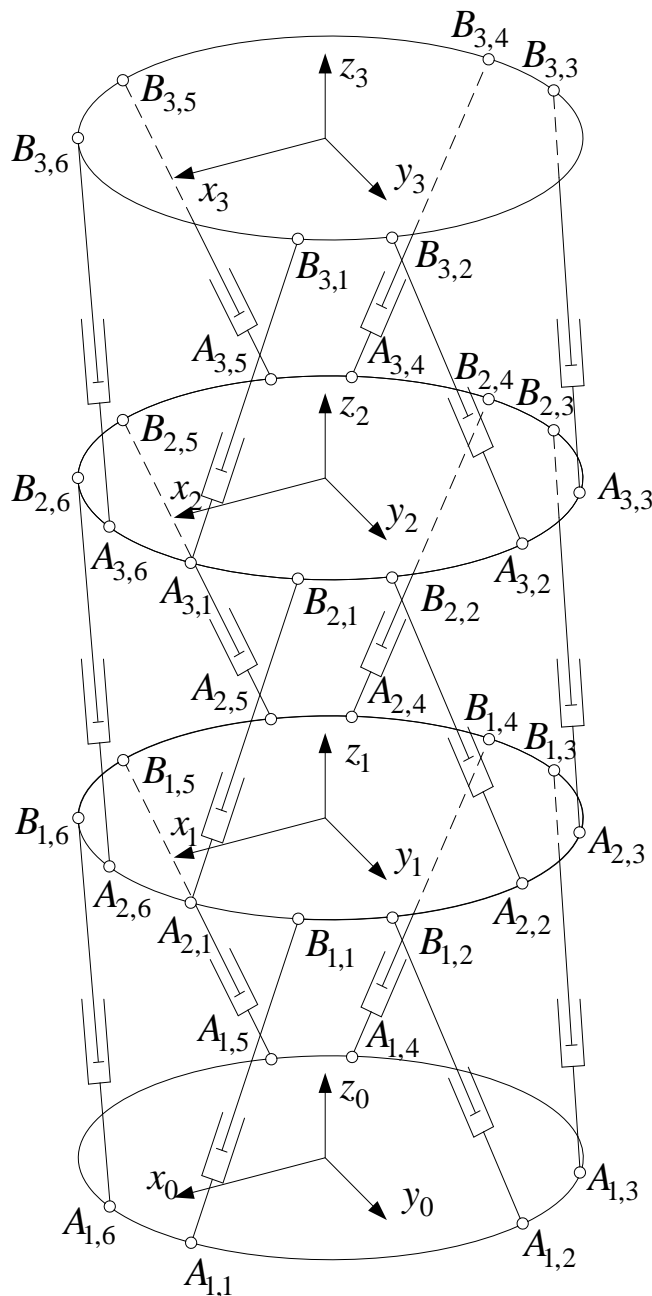
## Постановка обратной задачи для многосекционных механизмов параллельной структуры

Назначение любого исполнительного манипуляционного устройства сводится, в общем виде, к осуществлению требуемого движения выходного звена в абсолютной системе координат. Для осуществления требуемого движения необходимо, в конечном итоге, знать по какому закону требуется изменять обобщенные координаты. Это и приводит к необходимости решать так называемые обратные задачи. В данной работе рассмотрим обратную задачу о положении, возникающие при ее решении проблемы и предложим пути, способствующие устранению данных проблем.

Классическая задача о положении в приложении к робототехническим системам обычно ставится следующим образом [2]: для заданного вектора декартовых координат схвата  $\mathbf{X} = [x \ y \ z \ \alpha \ \beta \ \gamma]$  определить обобщенные координаты.

Многосекционные механизмы параллельной структуры обладают высокой избыточностью, но в то же время в существующей постановке задачи мы имеем максимум

шесть известных величин, характеризующих положение и ориентацию выходного звена (для многосекционного механизма выходное звено совпадает с выходным звеном последней секции) в декартовой системе координат. В то же время необходимо определять более чем 6 обобщенных координат. Для пояснения проблемы рассмотрим трехсекционный механизм (рис. 1).



**Рисунок 1.** Многосекционный механизм параллельной структуры (составлен авторами)

В качестве обобщенных координат такого механизма выступают длины телескопических штанг  $l_{i,j}(t), i = \overline{1..3}, j = \overline{1..6}$ . Соответственно, положение и ориентация данного механизма определяется 18 обобщенными координатами.

С математической точки зрения задача является явно переопределенной. В результате, в худшем случае, имеем бесконечное число решений, что не противоречит факту наличия

высокой избыточности механизма. Подобная ситуация крайне негативно сказывается на применении многосекционных механизмов, т. к. нет явного ответа на вопрос, как формировать управляющее воздействие для требуемого движения. Анализ литературы [1] показал, что однозначного метода на данный момент не существует. Например, в работе [1] для решения прибегают к измененной постановке задачи и вводят информацию для каждой секции. На наш взгляд, такая постановка, во-первых, требует больше исходных данных, и, во-вторых, имеет неочевидные на первый взгляд сложности, не заметные при рассмотрении статического положения, и проявляющиеся при решении данной задачи при движении механизма. Нами предлагается подход, который не требует изменения исходной задачи: он заключается в наложении на систему дополнительных ограничений.

### **Поход к решению обратной задачи с дополнительными ограничениями**

Поскольку из факта избыточности следует, что число решений бесконечно, из этого бесконечного числа решений нужно некоторым образом выбрать конфигурацию, обеспечивающую требуемое положение. Безусловно, наша задача должна свестись к определению конечного положения для каждой секции, т. е. к определению нужной конфигурации механизма, и, желательно, генерировать эти конфигурации не вручную, как это предложено в [1], а автоматически, используя только данные о положении выходного звена многосекционного манипулятора.

Разобьем задачу на подзадачи:

- выберем некоторый математического аппарата, использование которого позволит интуитивно выбрать нужную конфигурацию;
- сделаем допущение, что в рабочем пространстве может существовать некоторая пространственная кривая, такая, что расположенный вдоль этой кривой манипулятор имеет требуемую конфигурацию, при условии, что центры секций лежат на этой кривой; данное допущение можно легко математически обосновать, исходя из того положения, что в некотором пространственном объеме всегда можно провести непрерывную кривую. Тогда задача выбора требуемой конфигурации может быть сведена к выбору пространственной кривой. Следует отметить, что выбор способа построения данной кривой также является неоднозначной задачей и может зависеть от различных параметров: исходных данных, структуры рабочего пространства, структуры самого манипулятора. Тот факт, что центры секций располагаются на самой кривой, еще не является достаточным условием для однозначного определения конфигурации механизма, поскольку центры секции могут произвольно перемещаться вдоль данной кривой, вследствие чего возникает следующая задача;
- сформулируем процедуру построения кривой по исходным данным для обратной задачи о положениях для многосекционного манипулятора параллельной структуры;
- разработаем процедуру, которая будет однозначно определять центры секции на этой кривой, т. е. реализация алгоритма получения исходных данных для каждой секции;
- решим данную задачу для каждой секции, используя полученные данные.

### Выбор кривой, обзор вариантов в приложении к поставленной задаче

При выборе кривой, в первую очередь, играют роль:

- вычислительная простота;
- удобство алгоритмизации, построения кривой;
- возможность без изменения математического аппарата и переработки алгоритма получать пространственную кривую сложной конфигурации.

Можно отметить, что в некоторых случаях самым эффективным выбором является прямая, соединяющая нулевую точку и точку с координатами выходного звена, однако такой подход имеет ряд недостатков, поскольку при введении любого ограничения мы получим наложение робота на препятствие.

На возможность алгоритмизации и расчета координат влияет тот факт, при помощи какого математического аппарата задается кривая: наиболее часто рассматривается либо аналитическое описание, либо параметрическое, либо дискретное. Отметим, что дискретное описание не подходит, поскольку не дает выигрыша из-за необходимости хранения большого объема информации, что, по сути, возвращает нас к исходной постановке задачи.

Сложность аналитического задания связана с проблемами описания таких кривых в пространстве. Наиболее рациональный выбор – использование параметрических кривых, в связи с широтой выбора, простотой их задания и удобству использования в вычислительных процедурах.

Параметрическое представление характеризуется простотой анализа неявных функций даже в тех случаях, когда их приведение к явному виду иначе как через параметры затруднительно.

Наиболее универсальным вариантом, позволяющим построить практически любую пространственную кривую, является В-сплайн. Однако, учитывая сформулированные требования к вычислительной простоте, эффективнее будет рассмотреть различные частные случаи В-сплайна. Широко известным частным случаем В-сплайна является семейство кривых Безье [11]. Кривая Безье – параметрическая кривая, задаваемая выражением:

$$\mathbf{V}(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{P}_i b_{i,n}(t), \quad t \in [0 \quad 1],$$

где:  $\mathbf{P}_i$  – функция компонент векторов опорных вершин, а  $b_{i,n}(t)$  – базисные функции кривой Безье.

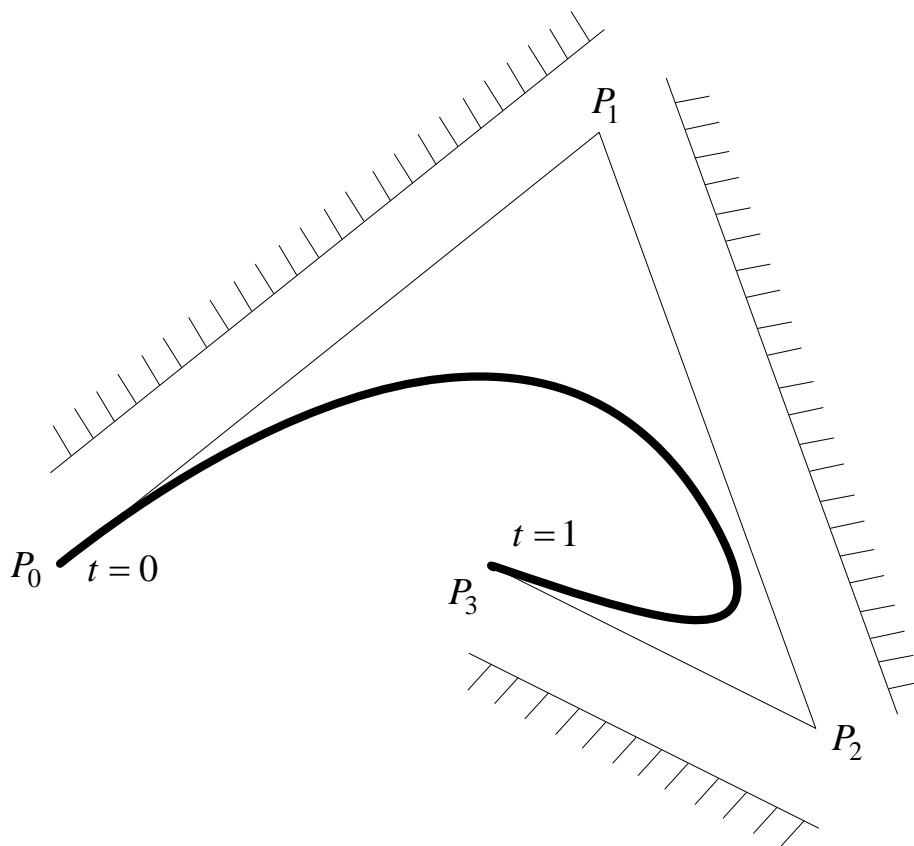
$$b_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i},$$

где:  $\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$  – число сочетаний из  $n$  по  $i$ , где  $n$  – степень полинома,  $i$  – порядковый номер опорной вершины.

Кривая Безье обладает следующими требуемыми свойствами:

- уравнения кривой представлены в параметрическом виде. Это позволяет быстро решить задачу вычисления центральных точек секций, расположенных на кривой, с помощью подстановки значения параметра;

- степень многочлена, определяющего участок кривой, на единицу меньше количества точек соответствующего многоугольника;
- основа кривой повторяет очертания многоугольника, что позволит задавать конфигурацию механизма исходя из наложенных на рабочее пространство ограничений (рис. 2);
- первая и последняя точки кривой совпадают с соответствующими точками определяющего многоугольника, что позволяет говорить о возможности применения данного семейства кривых в контексте постановки обратной задачи о положении;
- векторы касательных в концах кривой по направлению совпадают с первой и последней сторонами определяющего многоугольника, что гарантирует необходимое расположение конечной секции;
- кривая лежит внутри выпуклой оболочки многоугольника, что позволяет предположить, что точки кривой будут принадлежать рабочему пространству манипулятора.



*Рисунок 2. К использованию параметрических кривых для решения обратной задачи о положении ММПС при наличии ограничений на рабочее пространство (составлен авторами)*

**Построение кривой Безье, определяющей конфигурацию по исходным данным обратной задачи о положении для многосекционного манипулятора параллельной структуры**

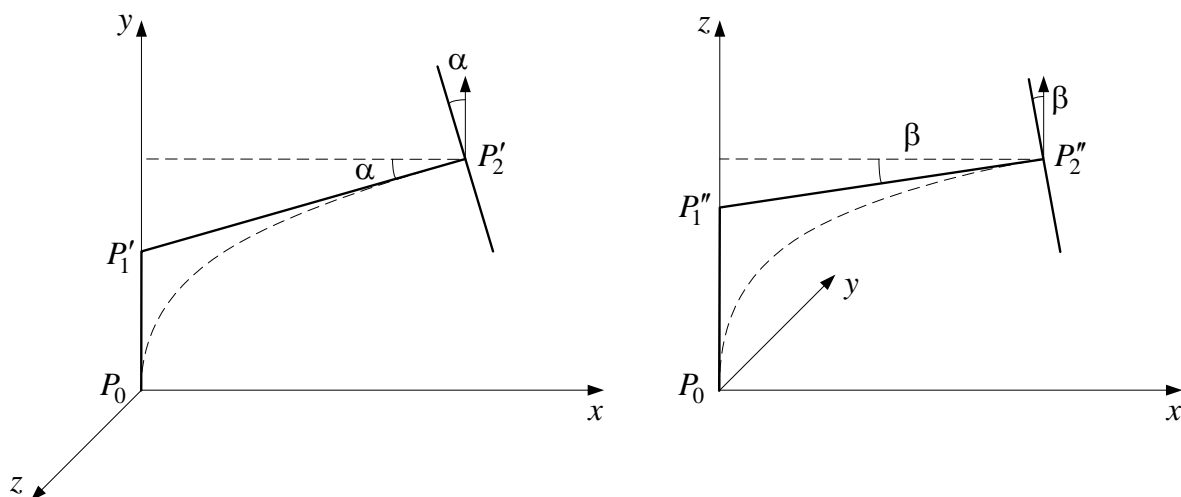
Известно, что форма кривой Безье определяется ее порядком, и, соответственно, ее самый простой вариант – прямая, которая, по описанным выше причинам, не удовлетворяет

нашей постановке задачи. Соответственно, для нашей задачи целесообразно использовать кривые Безье порядка 2 и выше, причем порядок кривой будет определяться, в большей степени, накладываемыми ограничениями, т. е. чем сложнее и больше ограничений, тем более высокого порядка кривые Безье будут необходимы. Пусть для задачи без ограничений будем считать достаточным второй порядок кривой Безье.

Рассмотрим применение кривой Безье второго порядка для решения обратной задачи о положении многосекционного механизма параллельной структуры. Кривая Безье второго порядка ( $n = 2$ ) задается тремя опорными точками:  $P_0(x_0 \ y_0 \ z_0)$ ,  $P_1(x_1 \ y_1 \ z_1)$ ,  $P_2(x_2 \ y_2 \ z_2)$  и описывается следующей системой уравнений

$$\begin{cases} x = (1-t)^2 x_0 + 2t(1-t)x_1 + t^2 x_2, \\ y = (1-t)^2 y_0 + 2t(1-t)y_1 + t^2 y_2, \\ z = (1-t)^2 z_0 + 2t(1-t)z_1 + t^2 z_2, \end{cases} \quad (1)$$

причем точка  $P_0(x_0 \ y_0 \ z_0)$  совпадает с началом отсчета, а координаты точки  $P_2(x_2 \ y_2 \ z_2)$  известны из условия обратной задачи о положении. Точку  $P_1(x_1 \ y_1 \ z_1)$  выберем на плоскости  $YOZ$ , таким образом, чтобы отрезок  $P_1P_2$  был перпендикулярен подвижной платформе последней секции манипулятора. Данное допущение принято из возможности существенно сократить объем вычислений, необходимых для решения обратной задачи о положении ММПС. Тогда координаты точки  $P_1(x_1 \ y_1 \ z_1)$  довольно просто вычислить из геометрических соображений, как это показано на рис. 3.



**Рисунок 3.** К определению координат точки  $P_1$  (составлен авторами)

После несложных преобразований получаем

$$\begin{aligned} x_1 &= 0, \\ y_1 &= y_2 - x_2 \operatorname{tg} \alpha, \\ z_1 &= z_2 - x_2 \operatorname{tg} \beta. \end{aligned}$$

### **Метод формирования данных для каждой секции, базовый алгоритм решения обратной задачи о положении**

Будем исходить из соображения, что секции многосекционного механизма одинаковы, поэтому желательно распределить центры секций равномерно, чтобы избежать тривиального случая управления только за счет одной секции. В конечном итоге, данная задача сводится к закреплению за каждой секцией определенной величины параметра кривой Безье.

Подставляя полученные координаты опорной точки в систему уравнений (1), получаем уравнение пространственной кривой Безье 2-го порядка, описывающую местоположение центральных точек многосекционного механизма. Далее с помощью подстановки параметра  $t$  вычисляются координаты центральных точек секций. Для этого можно воспользоваться следующим соотношением

$$t_i = \sqrt{i/n}, i = \overline{1..n}, \quad (2)$$

где:  $n$  – количество секций в ММПС.

Чтобы добиться равномерного распределения необходимо решать систему уравнений, что требует вычислительных затрат, поэтому для приближенно-равномерного распределения можно взять данное соотношение (2) для кривой Безье 2-го порядка.

В случае, когда подобное расположение секций не является удовлетворительным, варьируя параметр кривой  $t$  можно сформировать желаемую конфигурацию механизма.

В связи с этим предлагается алгоритм решения обратной задачи о положении многосекционного механизма параллельной структуры:

1. В зависимости от числа и характера ограничений, накладываемых на рабочее пространство манипулятора, выбрать порядок кривой Безье для формирования линии, ограничивающей положения центральных точек секций манипулятора.
2. Вычислить координаты вершин определяющего многогранника для построения кривой Безье.
3. Сформировать пространственную кривую, на которой расположены центры подвижных платформ всех секций.
4. Расположить центры подвижных систем координат на кривой Безье. В общем случае равномерно изменяя значение параметра.
5. Определить параметры поворотов и переноса, необходимые для перехода между системами координат, связанными с подвижными платформами секций.
6. Составить матрицы однородного преобразования, описывающие переход между системами координат.
7. Получить решение обратной задачи о положении отдельно для каждой секции.
8. В случае, если полученное решение не удовлетворяет ограничению на допустимые значения обобщенных координат перейти к Шагу 4.
9. Конец.

Рассмотрим применение данного алгоритма на следующем примере. Для многосекционного механизма параллельной структуры, состоящего из трех секций, каждая из которых является классической платформой Гью-Стюарта, определить длины штанг манипулятора, при условии, что центр подвижной платформы третьей секции расположен в



точке  $A(450 \ 0 \ 150)$ , а ее плоскость повернута на угол  $90^\circ$  вокруг оси  $OY$  неподвижной системы координат.

Свяжем неподвижную систему координат с центром основания первой секции, а подвижные – с центрами подвижных платформ каждой секции, как показано на рис. 1. Считаем, что все секции ММПС абсолютно одинаковые и описываются следующими параметрами. Шарниры основания лежат в вершинах правильного с радиусом описанной окружности

$R = 30$ , угловая координата первого шарнира основания определяется величиной  $\varphi_b = \frac{\pi}{18}$ . Шарниры подвижной платформы лежат в вершинах правильного треугольника с радиусом описанной окружности  $r = 30$ , и угловая координата первого шарнира подвижной платформы

определяется величиной  $\varphi_{mp} = \frac{\pi}{4}$ .

Составим матрицу однородного преобразования, описывающую положение и ориентацию подвижной системы координат, связанной с 3 секцией

$$\mathbf{T}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 450 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 150 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Поскольку в рассматриваемой задаче ограничения на рабочее пространство не накладываются, выберем в качестве линии, ограничивающей положения центров секций, кривую Безье второго порядка, исходя из соображений минимизации количества вычислений.

В качестве вершин определяющего многогранника выберем следующие:  $P_0(0 \ 0 \ 0)$ ,  $P_2(450 \ 0 \ 150)$  и точку  $P_1(x_1 \ y_1 \ z_1)$ . При выборе точки  $P_1$  будем придерживаться следующих допущений: точка должна лежать в плоскости  $YOZ$ , отрезок  $P_1P_2 \perp X_3O_3Y_3$  (плоскости подвижной платформы 3 секции). Для такой задачи вычислить координаты опорной точки довольно просто, и они равны  $P_1(0 \ 0 \ 150)$ . По найденным опорным точкам сформируем кривую Безье второго порядка, описываемую (1).

Таким образом, для вычисления координат центра подвижной платформы первой секции необходимо подставить в систему (1)  $t_1 = 0,5774$ , для второй секции –  $t_2 = 0,8165$  и т. п. Компоненты матрицы поворота выберем из соображения равномерного изменения. Тогда для рассматриваемого примера матрицы однородного преобразования, описывающие положение и ориентацию первой и второй секций имеют следующий вид

$$\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} 0,8660 & 0 & 0,5 & 150 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0,5 & 0 & 0,8660 & 123,2051 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} 0,5 & 0 & 0,8660 & 300 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0,8660 & 0 & 0,5 & 144,9490 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Решение обратной задачи о положении для отдельной секции не вызывает затруднений и описано во множестве работ [3, 5, 6]. Векторы однородных координат для шарниров основания описываются следующими соотношениями

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{i,1} &= (R \cos(\varphi_b) \quad R \sin(\varphi_b) \quad 0 \quad 1)^T, \\ \mathbf{A}_{i,2} &= \left( R \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \varphi_b\right) \quad R \sin\left(\frac{2\pi}{3} - \varphi_b\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{A}_{i,3} &= \left( R \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \varphi_b\right) \quad R \sin\left(\frac{2\pi}{3} + \varphi_b\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{A}_{i,4} &= \left( R \cos\left(\frac{4\pi}{3} - \varphi_b\right) \quad R \sin\left(\frac{4\pi}{3} - \varphi_b\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{A}_{i,5} &= \left( R \cos\left(\frac{4\pi}{3} + \varphi_b\right) \quad R \sin\left(\frac{4\pi}{3} + \varphi_b\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{A}_{i,6} &= (R \cos(-\varphi_b) \quad R \sin(-\varphi_b) \quad 0 \quad 1)^T. \end{aligned}$$

Аналогично находятся выражения для координат шарниров подвижной платформы

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_{i,1} &= (r \cos(\varphi_{mp}) \quad r \sin(\varphi_{mp}) \quad 0 \quad 1)^T, \\ \mathbf{B}_{i,2} &= \left( r \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \varphi_{mp}\right) \quad r \sin\left(\frac{2\pi}{3} - \varphi_{mp}\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{B}_{i,3} &= \left( r \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \varphi_{mp}\right) \quad r \sin\left(\frac{2\pi}{3} + \varphi_{mp}\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{B}_{i,4} &= \left( r \cos\left(\frac{4\pi}{3} - \varphi_{mp}\right) \quad r \sin\left(\frac{4\pi}{3} - \varphi_{mp}\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{B}_{i,5} &= \left( r \cos\left(\frac{4\pi}{3} + \varphi_{mp}\right) \quad r \sin\left(\frac{4\pi}{3} + \varphi_{mp}\right) \quad 0 \quad 1 \right)^T, \\ \mathbf{B}_{i,6} &= (r \cos(-\varphi_{mp}) \quad r \sin(-\varphi_{mp}) \quad 0 \quad 1)^T. \end{aligned}$$

В таком случае аналитическое решение имеет следующий вид

$$l_{i,j} = \sqrt{\left( (\mathbf{T}_{i-1}\mathbf{A}_{i,j})_{1,1} - (\mathbf{T}_i\mathbf{B}_{i,j})_{1,1} \right)^2 + \left( (\mathbf{T}_{i-1}\mathbf{A}_{i,j})_{2,1} - (\mathbf{T}_i\mathbf{B}_{i,j})_{2,1} \right)^2 + \left( (\mathbf{T}_{i-1}\mathbf{A}_{i,j})_{3,1} - (\mathbf{T}_i\mathbf{B}_{i,j})_{3,1} \right)^2},$$

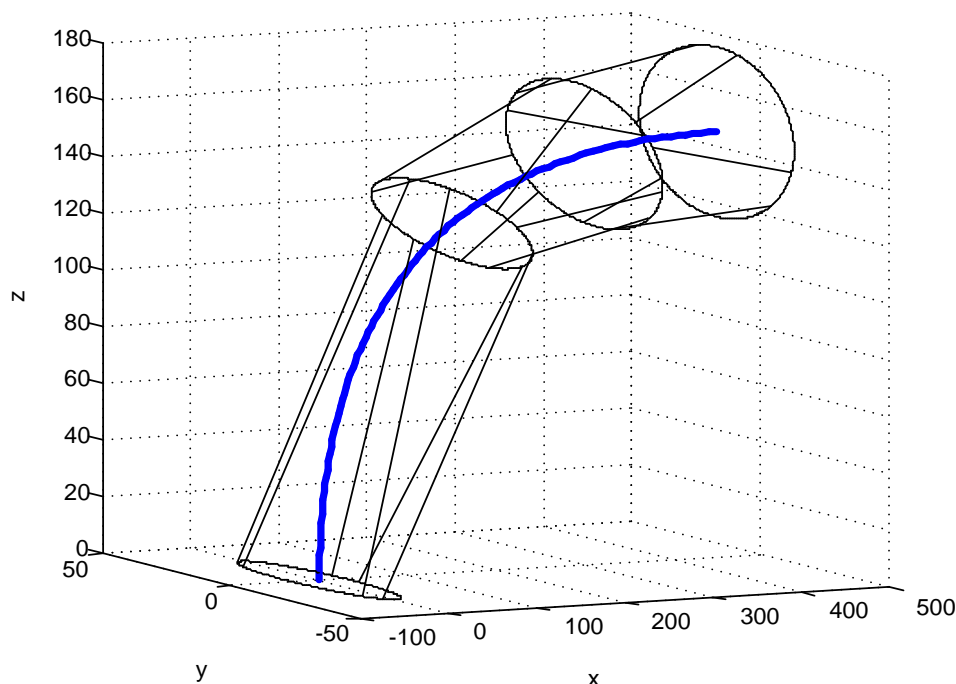
$$i = \overline{1..3}, j = \overline{1..6}, \mathbf{T}_0 = \mathbf{E}.$$

Результаты решения обратной задачи о положении для рассматриваемого примера приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Секция Штанга	$l_{i,1}$	$l_{i,2}$	$l_{i,3}$	$l_{i,4}$	$l_{i,5}$	$l_{i,6}$
$i = 1$	179,4644	205,2377	199,9535	199,9535	205,2377	179,4644
$i = 2$	137,1711	163,0703	157,4277	157,4277	163,0703	137,1711
$i = 3$	136,4973	155,5654	161,2989	161,2989	155,5654	136,4973

Параметрическая кривая и конфигурация многосекционного механизма в конечном положении приведены на рис. 4.



**Рисунок 4.** Конфигурация многосекционного механизма в конечном положении (составлен авторами)

Полученное решение считаем удовлетворительным, и необходимость переходить к Шагу 4 предложенного алгоритма отсутствует.

### Заключение

Было показано, что для решения обратной задачи в случае использования кривой Безье 2-го порядка не требуется дополнительных данных, кроме тех, что дает нам классическая постановка обратной задачи.

Подводя итог, можно сказать: нами составлена методика и предложен математический аппарат, который косвенным образом позволяет выбрать одну из допустимых конфигураций,

что дает возможность решить обратную задачу в классической постановке. Данное исследование требует дальнейшей проработки как в случае наличия ограничений, что приведет к повышению порядка кривой, так и в случае необходимости получения более общих случаев, что приведет к необходимости использования в качестве кривой B-сплайнов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Merlet J. P. Parallel robots. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.
2. Корендясев А. И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / А. И. Корендясев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес; отв. ред. С. М. Каплунов; Ин-т машиноведения им. А. А. Благодирова РАН. – М.: Наука, Кн. 1. – 2006. – 383 с.
3. Глазунов В. А. Пространственные механизмы параллельной структуры / В. А. Глазунов, А. Ш. Колисков, А. Ф. Крайнев – М.: Наука, 1991. – 95 с.
4. Рыбак Л. А. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры. [Электронный ресурс] / Л. А. Рыбак, В. В. Ержуков, А. В. Чичварин. М.: Физматлит, 2011. – 148 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59592>.
5. Хейло С. В. Разработка научных основ создания манипуляционных механизмов параллельной структуры для робототехнических систем предприятий текстильной и легкой промышленности: Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.02.13 / Московский Государственный Университет Дизайна и Технологии., Москва, 2014, 292 с.
6. Хейло С. В., Глазунов В. А., Ширинкин М. А., Календарев А. В. Возможные применения механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. №5. С. 19-24.
7. Глазунов В. А., Чунихин А. Д. Развитие исследований механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. №3. С. 37-43.
8. Глазунов В. А., Ласточкин А. Б., Шалюхин К. А., Данилин П. О. К анализу и классификации устройств относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. №4. С. 81-85.
9. Miura K., Furuya H. Variable geometry truss and its application to deployable truss and space crane arms // 35th Congress of the Int. Astronautical Federation (Lausanne, 7-13 October, 1984), 1984, p. 1-9.
10. Seguchi Y., Tanaka M. Dynamic analysis of a truss-type flexible robot arm // JSME Int. J., 1990, №2, p. 183-190.
11. Роджерс Д. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. / Роджерс Д., Адамс Дж. – М: Мир, 2001. – 604 с., ил.

**Lapikov Anton Leonidovich**

Bauman Moscow state technical university  
Kaluga branch, Russia, Kaluga  
E-mail: anton.lapikov@inbox.ru

**Masyuk Vladimir Mihaylovich**

Bauman Moscow state technical university  
Kaluga branch, Russia, Kaluga  
E-mail: masyuk77@mail.ru

**Orekhov Sergei Yurevich**

Bauman Moscow state technical university  
Kaluga branch, Russia, Kaluga  
E-mail: Serg31057@mail.ru

## **Analysis of generic problems appearing during solution of inverse position problem for multisectional parallel manipulators and approaches to their solution**

**Abstract.** This paper is dedicated to solution of inverse position problem for multisectional parallel manipulators, analysis of characteristic problems for multisectional mechanisms; the paper also suggests an unconventional approach to solution of such problems.

The suggested method assumes working around the problem of infinite amount of generic coordinate sets relevant to a certain configuration of the mechanism, without changing classical setting of inverse position problem. This problem is relevant, analysis of literature [1-8] showed that currently there are no clear cut approaches to solution of such problems.

An algorithm for automated design of configuration strictly with the use of position information of the output arm of a multisectional manipulator is suggested, basic subproblems are defined. It is pointed out as well, that one of the approaches to solution of inverse position problem consists in introduction of additional restrictions and, accordingly, introduction of a class of spatial parametric curves lying inside operating space of the manipulator. The characteristics of required classes of curves are given, and it is shown that position of points of output arms for each section of a multisectional mechanism can be placed on the indicated curve, which is equivalent to posing a restriction on the mechanism's configuration.

The result of the study is design of an algorithm for data generation for each section and a basic algorithm for solution of inverse position problem as exemplified by Bezier curve tracing. The results of computational simulation are shown, and conclusions are drawn.

**Keywords:** mechanisms of parallel structure; kinematic chains; inverse position problem