

УДК 621.865.8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ МОБИЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА-ТРИПОДА\*

В.М. Герасун, В.В. Жога, И.А. Несмиянов, Н.С. Воробьева, В.В. Дяшкин-Титов

*Получены кинематические зависимости, позволяющие находить положения центра масс схвата мобильного манипулятора-трипода в пределах зоны обслуживания. Определены геометрические характеристики рабочей зоны манипулятора-трипода. Разработан алгоритм перемещения схвата и построена рабочая зона его перемещения. Предложены теоретические зависимости для определения зоны обслуживания при условии исключения попадания механизма в мертвое положение.*

**Ключевые слова:** манипулятор параллельной структуры, кинематический анализ, зона обслуживания.

### Введение

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется большим разнообразием технологических операций, что обуславливает разработку и создание широкой номенклатуры средств механизации.

Наращивание энергетических мощностей и развитие сельскохозяйственных машин позволяет механизировать основные процессы в растениеводстве, но оставляет ручной труд при выполнении погрузочно-разгрузочных операций. Следует также учитывать сезонность проведения работ, в результате чего существенная доля мобильных агрегатов длительное время не используется, снижая экономические показатели предприятия.

Зарубежный опыт развития сельского хозяйства показывает принципиальную возможность роботизации целого ряда технологических процессов в сельском хозяйстве, где присутствует большая доля монотонного ручного труда. В промышленно развитых странах ведутся интенсивные работы по созданию различных робототехнических систем для механизации трудоемких операций.

Поэтому проведение теоретических исследований и опытно-конструкторских работ, позволяющих создавать машины, повышающие производительность труда, является актуальной задачей.

Целью данной работы явилось определение траекторий перемещения рабочего устройства, образующих зону обслуживания манипулятора-трипода, с учетом поворота опорного основания. Кроме того, для сравнения кинематических характеристик стрелового манипулятора и манипулятора-трипода предложены зависимости, определяющие углы поворотов в пространстве характерного звена переменной длины пространственного механизма.

### Кинематика манипулятора-трипода

Основным исполнительным устройством робота или иного технического средства, выполняющего погрузочно-разгрузочные и другие технологические операции, является манипулятор. Одна из его главных характеристик, обеспечивающих экономическую эффективность, — это отношение массы груза к собственной

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научных проектов № 13-08-00387 и № 12-08-00301-а.

массе конструкции. Традиционные стреловые манипуляторы имеют разомкнутую кинематическую цепь, включающую в себя механизмы поворота и изменения вылета стрелы, которые обладают существенной металлоемкостью. Снижения собственной массы манипулятора без ухудшения прочностных характеристик можно достичь, используя пространственные структуры, в частности  $l$ -координатные механизмы, получившие в настоящее время достаточно широкое распространение [1–5].

На рисунке 1 представлен  $l$ -координатный манипулятор, образованный тремя стержнями в виде силовых гидроцилиндров, концы которых с одной стороны соединены специальным сферическим шарниром, а с другой – располагаются на опорном основании. На сферическом шарнире может устанавливаться пассивное или активное грузозахватное устройство либо иной рабочий орган для выполнения технологических операций. Такое расположение гидроцилиндров с соединяющим их сферическим шарниром представляет собой пространственную структуру в виде треугольной пирамиды, не имеющей избыточных связей. Для этого механизма соблюдается условие статической определимости, состоящее в том, что в одной точке могут пересекаться не более трех стержней [6]. Кроме того, для данной схемы характерны высокая степень унификации и возможность агрегатно-модульного построения.

Опорное основание способно поворачиваться с помощью гидроцилиндра, что расширяет эксплуатационные показатели манипулятора. Конструкция манипулятора обеспечивает четыре степени подвижности рабочего устройства, что позволяет выполнять максимальное количество технологических операций [7]. Манипулятор может устанавливаться на любом

транспортном средстве, например на колесном самоходном шасси (см. рис. 1).

Одним из основных технических показателей погрузочного манипулятора является рабочее пространство, охватывающее возможные траектории перемещения сферического шарнира с грузозахватным устройством.

Решение прямой задачи кинематики о положениях манипулятора позволяет найти геометрические характеристики рабочего пространства при конструктивных ограничениях на обобщенные координаты [8]:

$$L_{i \min} < L_i < L_{i \max}, \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

где  $L$  – длина гидроцилиндра;  $i$  – его порядковый номер.

Для определения траектории перемещения центра масс сферического шарнира с грузозахватным устройством (точка  $M$ , рис. 2) выбраны две системы координат: неподвижная  $OXYZ$ , связанная с транспортным средством, на котором расположен манипулятор, и подвижная  $O_1X_1Y_1Z_1$ , связанная с поворотным опорным основанием манипулятора.

Уравнения связи между координатами точки  $M$ , длинами цилиндров и координатами точек их крепления в подвижной системе координат имеют вид [9]

$$\begin{cases} X_{1M}^2 + Y_{1M}^2 + (Z_{1M} - Z_{1A})^2 = L_1^2; \\ (X_{1M} - X_B)^2 + Y_{1M}^2 + Z_{1M}^2 = L_2^2; \\ (X_{1M} - X_C)^2 + Y_{1M}^2 + Z_{1M}^2 = L_3^2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $X_{1M}$ ,  $Y_{1M}$ ,  $Z_{1M}$  – координаты точки  $M$  в подвижной системе координат;  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  – текущие значения длин звеньев манипулятора;  $X_B = -X_C$ ;  $Z_{1A}$  – постоянные координаты точек крепления звеньев манипулятора.

Решая систему (1), получим зависимости координат точки  $M(X_{1M}, Y_{1M}, Z_{1M})$  от длин



Рис. 1. Манипулятор-трипод на самоходном шасси Т-16М

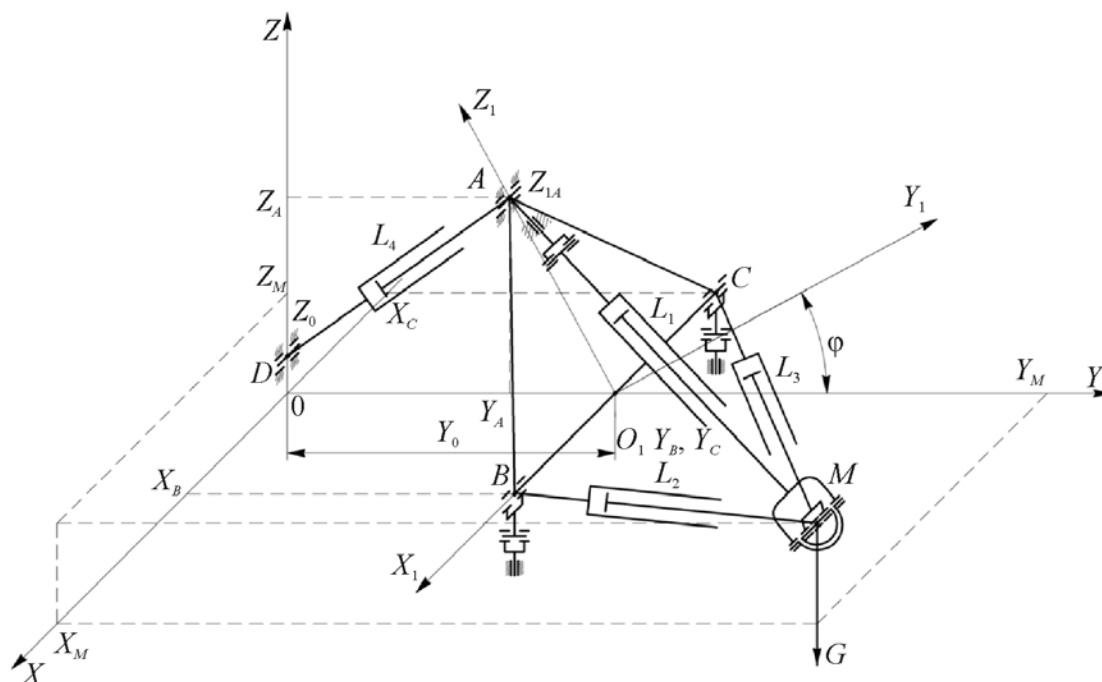


Рис. 2. Расчетная схема манипулятора-трипода:

$A, B, C, D$  – шарнирные опоры гидроцилиндров;  $L_1, L_2, L_3$  – длины гидроцилиндров, образующих пространственный механизм;  $L_4$  – длина гидроцилиндра поворота опорного основания;

$G$  – сила тяжести перемещаемого груза;  $\varphi$  – угол поворота опорного основания;  $X_M, Y_M, Z_M$  – проекции сферического шарнира  $M$  на неподвижные оси координат;  $Y_A, Z_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C$  – проекции шарнирных опор гидроцилиндров на неподвижные оси координат;  $Y_0$  – координата, определяющая центр подвижной системы координат  $O_1X_1Y_1Z_1$  относительно неподвижной  $OXYZ$

звеньев  $L_1, L_2, L_3$  и координат точек крепления основания манипулятора:

$$\begin{cases} X_{1M} = \frac{L_3^2 - L_2^2}{4X_B}; \\ Y_{1M} = \left[ L_1^2 - \frac{(L_3^2 - L_2^2)^2}{16X_B^2} - \frac{(-L_1^2 + 0,5L_2^2 + 0,5L_3^2 - X_B^2 - Z_{1A}^2)^2}{4Z_{1A}^2} \right]^{\frac{1}{2}}; \\ Z_{1M} = \frac{-L_1^2 + 0,5L_2^2 + 0,5L_3^2 - X_B^2 + Z_{1A}^2}{2Z_{1A}}. \end{cases} \quad (2)$$

Переход от подвижной системы координат  $O_1X_1Y_1Z_1$  к неподвижной  $OXYZ$  определяется зависимостями [10]

$$\begin{cases} X_M = X_0 + \alpha_{11}X_{1M} + \alpha_{21}Y_{1M} + \alpha_{31}Z_{1M}; \\ Y_M = Y_0 + \alpha_{12}X_{1M} + \alpha_{22}Y_{1M} + \alpha_{32}Z_{1M}; \\ Z_M = Z_0 + \alpha_{13}X_{1M} + \alpha_{23}Y_{1M} + \alpha_{33}Z_{1M}, \end{cases} \quad (3)$$

где  $X_M, Y_M, Z_M$  – координаты точки  $M$  в неподвижной системе координат;  $X_0, Y_0, Z_0$  – проекции вектора, определяющего положение начала подвижной системы координат в неподвижной системе координат;  $\alpha_{sk}$  – проекция единичного вектора  $\vec{i}_{1s}$  подвижной системы координат на направление единичного вектора  $\vec{i}_k$  неподвижной системы координат, которая определяется скалярным произведением

$$\alpha_{sk} = \vec{i}_{1s} \cdot \vec{i}_k, \quad s, k = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Для расчетной схемы (см. рис. 2)

$$X_0 = 0; Y_0 = Y_0; Z_0 = 0;$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{vmatrix} \quad \text{– матрица направляющих косинусов.}$$