

УДК 621.865.8

DOI 10.35211/1990-5297-2025-9-304-41-44

*И. А. Несмиянов¹, М. Е. Николаев², В. А. Перфилов², Д. А. Ляшенко²***БАЗА ЗНАНИЙ ЦИКЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ
НА ПРИМЕРЕ ПОГРУЗКИ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ**¹ Волгоградский государственный аграрный университет² Волгоградский государственный технический университет

ivan_nesmiyanov@mail.ru; mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru;

vladimirperfilov@mail.ru; dmitiry.lyashenko@yandex.ru

Рассмотрена база знаний циклов технологических погрузочно-разгрузочных операций в сельском производстве, выполняемых манипуляторами, их лингвистическая аппроксимация на примере погрузки штучных грузов. С целью выбора планирования траекторий перемещения захватываемых грузов, с учетом минимизации энергозатрат.

Ключевые слова: планирование траекторий, манипулятор, погрузчик, грузозахватный орган.

*I. A. Nesmeyanov¹, M. E. Nikolaev², V. A. Perfilov², D. A. Lyashenko²***KNOWLEDGE BASE OF CYCLES OF TECHNOLOGICAL LOADING
AND UNLOADING OPERATIONS ON THE EXAMPLE
OF LOADING OF INDIVIDUAL CARGOES**¹ Volgograd State Agrarian University² Volgograd State Technical University

The knowledge base of cycles of technological loading and unloading operations in rural production performed by manipulators, their linguistic approximation, is considered, using the example of loading individual cargoes. In order to select the planning of the trajectories of movement of captured goods, taking into account the minimization of energy consumption.

Keywords: trajectory planning, manipulator, loader, lifting body.

Управление манипулятором – это комплексный процесс, который включает в себя разработку и оптимизацию планирования программных движений грузозахватного органа, определяющих его положение в пространстве, а также перемещение из начальной в конечную точку по заданным траекториям.

Траектория движения захвата при выполнении технологического процесса погрузки, транспортировки штучных грузов является одним из ключевых факторов, влияющих на работу приводов механизма. Чтобы обеспечить точное позиционирование по заданной траектории, необходимо учитывать все возможные конфигурации манипулятора. Это возможно при условии отсутствия динамических и статических препятствий на пути движения грузозахватного органа.

В сельском хозяйстве технологические процессы имеют ряд характерных черт, которые могут быть непредсказуемыми. Например, начальное и конечное положения захвата манипулятора не всегда остаются неизменными.

Однако любой процесс перемещения грузозахватного органа можно описать с помощью стандартных траекторий, которые могут быть прямыми, изогнутыми и т. д. Эффективность работы манипулятора определяется выбранными траекториями. Существует несколько возможных траекторий, по которым может двигаться захват от начальной точки до конечной. Манипулятор может перемещаться по прямой, соединяющей начальную и конечную точки, а также по некоторой плавно изгибающейся линии, которая удовлетворяет определенным требованиям к ориентации захвата в начале и в конце пути. Наиболее рациональным с точки зрения позиционирования захвата, является прямолинейное перемещение. В некоторых ситуациях перемещение по прямой линии становится невозможным из-за помех, специфики конструкции манипулятора и других причин. В определенных ситуациях перемещение по прямой траектории не всегда оказывается наиболее выгодным с точки зрения энергопотребления приводами.

Это может произойти в случае, когда объекты, подлежащие захвату, оказываются на границах рабочей зоны обслуживания, или когда направление движения исполнительных механизмов изменяется. При перемещении захватываемых объектов, с которыми предстоит взаимодействовать, важно предусмотреть меры по оптимизации энергопотребления. Транспортировка упакованных грузов, а также травмируемых объектов при погрузке должна проводиться с учетом минимальных инерционных воздействий [1].

В зависимости от особенностей производственного процесса, траектория движения захвата манипулятора может быть прямой или состоять из отрезков прямых линий 13, 34, 45, 52. Возможны также траектории, представляющие собой дуги 16, 12 или 13, 34, 45, 52 более сложные комбинации. Сложную траекторию можно представить как совокупность элементарных участков, которые описываются простыми функциями. Эти участки соединяются в узловых точках.

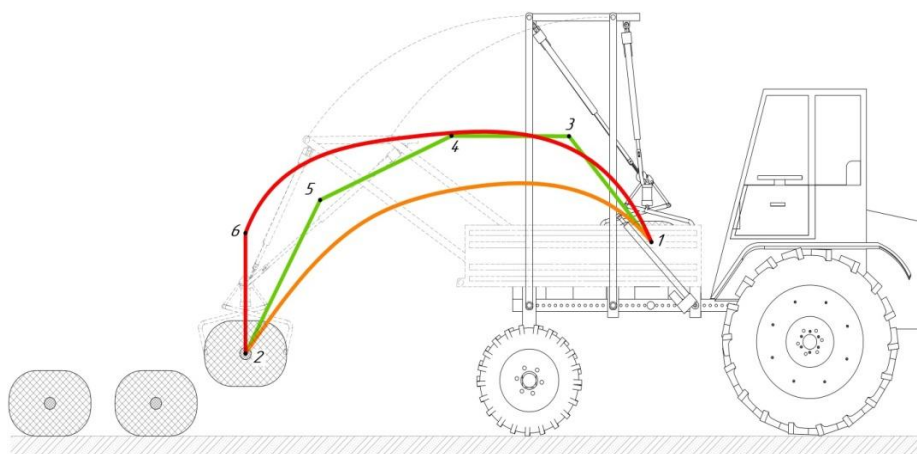


Рис. 1. Возможные кусочно-линейные траектории погрузки мешков-сеток с луком репкой манипулятором погрузчика в кузов самоходного шасси (без препятствия)

Движения грузозахватного органа манипулятора определяются особенностями производственного процесса погрузки и транспортировки грузов.

В частности, при выполнении операции по загрузке в транспортное средство с помощью погрузчика (рис. 2) возникают некоторые неопределенности:

1. Точки *A* и *J* не находятся в прямой видимости друг от друга, поэтому необходимо раз-

работать траекторию движения грузозахватного органа манипулятора, учитывая препятствия и особенности траектории.

Возможны два варианта:

1) выбрать криволинейную траекторию *ADJ* или *ABFJ*, которая позволит обойти борта транспортного средства;

2) разбить маршрут на участки и определить узловые точки, через которые будет проходить движение.

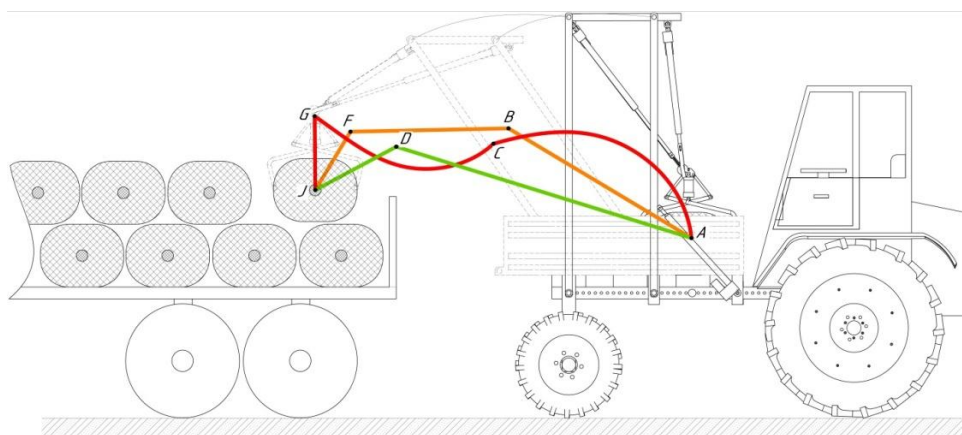


Рис. 2. Возможные траектории перемещения манипулятора погрузчика при выгрузке мешков-сеток с луком-репкой в транспортное средство

2. Процесс загрузки контейнеров в транспортное средство включает в себя последовательное заполнение грузового пространства, в результате чего окончательная точка размещения груза, становится переменной. Отсюда можно сделать вывод, что траектория, которая была выбрана изначально, может как увеличиваться, так и уменьшаться. В такой ситуации может произойти изменение и в направлении движения захвата. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию, когда необходимо переместить груз из точки A в точку G . В этом случае траектория может быть разбита на несколько участков с узловой точкой C . Это необходимо для того, чтобы обойти препятствие – борт кузова. Таким образом, путь будет состоять из двух частей: AC и CG .

3. Точка A не всегда остается неизменной.

Наиболее эффективным маршрутом при позиционировании грузозахватного органа, является прямая траектория. При выборе такого пути задача определения местоположения сводится к перемещению манипулятора вдоль отрезка E_0E_1 . Уравнение прямой в трехмерном пространстве, проходящей через точки с координатами x_{E1}, y_{E1}, z_{E1} и x_{E0}, y_{E0}, z_{E0} , можно представить в следующем виде:

$$\frac{x_E - x_{E0}}{\Delta x} = \frac{y_E - y_{E0}}{\Delta y} = \frac{z_E - z_{E0}}{\Delta z}, \quad (1)$$

где $\Delta x = x_{E1} - x_{E0}$, $\Delta y = y_{E1} - y_{E0}$, $\Delta z = z_{E1} - z_{E0}$, а $\vec{y}(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ – вектор, который указывает направление прямой, параллельной отрезку E_0E_1 .

Программное перемещение захвата по прямой линии определяет только направление движения захвата, поэтому необходимо обеспечить его перемещение по заданной траектории в соответствии с требуемым алгоритмом. Решение задачи состоит в том, чтобы для каждой обобщенной координаты выбрать один из известных законов изменения ускорения: треугольный, линейный, синусоидальный или полиномиальный. Для такого случая, принимаем, что траектория движения грузозахватного органа заранее известна [2–4].

Разработка возможных траекторий грузозахватного органа манипулятора нужна для нахождения программных перемещений. Эти данные записываются в лингвистический аппроксиматор, после чего используются для создания базы моделей и управлений (БМУ). БМУ является основой для разработки интеллектуальной системы управления, которая применяет технологию ассоциативной памяти.

Лингвистический аппроксиматор предназначен для того, чтобы заменить перемещение грузозахватного органа криволинейными траекториями. Поэтому необходимо заранее определить результаты взаимодействия различных степеней свободы в системе. Задачей подбора аппроксимирующих сплайнов, является определение количества криволинейных траекторий, которые потребуются для описания всех технологических процессов. Для этого необходимо, чтобы модели были достаточно легкими в управлении в режиме реального времени.

Исследование процессов, связанных с погрузкой и разгрузкой лука-репки, упакованного в мешки-сетки показывает, что большинство операций можно осуществить с использованием определенных движений и параметров манипулятора, а также его обобщенных координат, что позволяет реализовать технологические процессы [5–7].

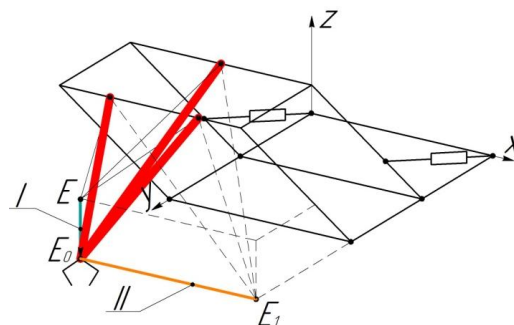


Рис. 3. Вертикальная (I) и горизонтальная (II) траектория движения выходного звена грузозахватного органа манипулятора

I – Движение захвата манипулятора по прямой траектории в вертикальном направлении.

$$\alpha = \text{const}, \psi = \text{const}, \beta = 0, x_E = \text{const}, \quad (2)$$

$$x_{E0} = \text{const}, y_E = \text{const}, y_{E0} = \text{const}.$$

II – Движение захвата манипулятора по прямой линии в горизонтальной плоскости.

$$x_E = \text{const}, x_E = \text{const}, y_E(t), z_E = \text{const}. \quad (3)$$

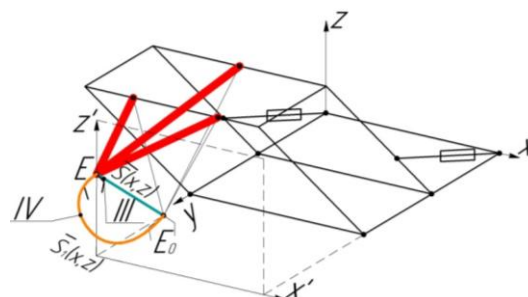


Рис. 4. Движение по прямой линии под любым углом в вертикальной плоскости (III) и перемещение по заданной траектории в вертикальной плоскости (IV) захвата манипуляционного механизма

III – Перемещение по прямой траектории в любом направлении в вертикальной плоскости с учетом заданного угла.

IV – Движение по заданной траектории в вертикальном направлении.

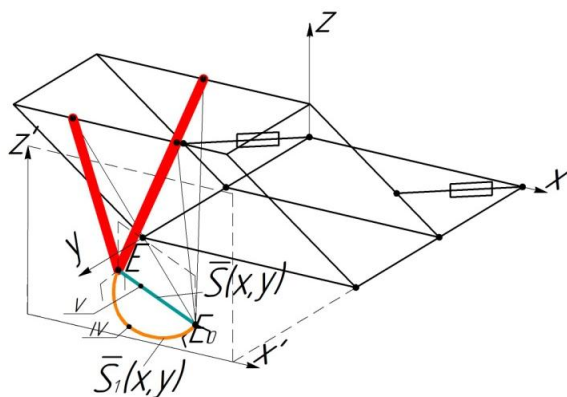


Рис. 5. Движение по прямой линии под любым углом в горизонтальной плоскости (V) и движение по заданной траектории в горизонтальной плоскости (VI)

V – Перемещение по прямой траектории под любым наклоном в горизонтальной плоскости.

VI – Движение по прямой линии в любом направлении в горизонтальной плоскости.

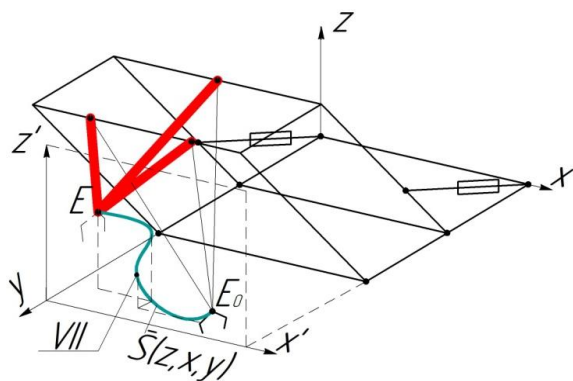


Рис. 6. Перемещение по произвольной траектории выходного звена грузозахватного механизма манипулятора (VII)

VII – Движение выходного элемента грузозахватного устройства манипулятора по любой траектории.

В результате исследований рассмотрена база знаний циклов технологических погрузочно-разгрузочных операций в сельском производстве, выполняемых манипуляторами, их лингвистическая аппроксимация на примере погрузки штучных грузов. С целью выбора планирования траекторий перемещения захватываемых грузов, с учетом минимизации энергосатрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юсупова, Н. И. Программное обеспечение для решения задачи извлечения деталей из контейнера с использованием технологии PMD / Н. И. Юсупова, Х. Верн, И. Р. Мамаев // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2010. – № 1 (36). – С. 148–153.
2. Бурдаков, С. Ф. Планирование и оптимизация программных движений роботов методом конфигурационного пространства / С. Ф. Бурдаков, Н. А. Харалдин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2012. – № 3 (150). – С. 17–23.
3. Чайкин, М. О. Разработка программного комплекса для решения задачи планирования траектории при управлении движением манипуляционного механизма // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – № 2. – С. 55–66.
4. Шапоров, М. Н. Кинематический анализ механизма подъема контейнеров на погрузочно-транспортном агрегате / М. Н. Шапоров, И. С. Мартынов, М. А. Садовников, А. В. Седов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 2 (54). – С. 346–354.
5. Nikolaev, M. E. Definition of service area of agricultural loading robot with manipulator of parallel-serial structure / M. E. Nikolaev, I. A. Nesmianov, E. N. Zaharov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – №747(1). – doi: 10.1088 1757-899X 747 1 012125.
6. Zhoga, V. V. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers / V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov, V. A. Belikov // International Review of Mechanical Engineering. – 2017. – № 5. – pp.337-342.
7. Nikolaev, M. Justification Parameters and Planning Capture Trajectories for Robotic Loading and Transport / M. Nikolaev, I. Nesmianov, V. Zhoga, A. Ivanov // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – №245. – pp.235-246. – doi: 10.1007 978 981 16 3349 2_20.