

*М. Е. Николаев, В. А. Перфилов, Д. А. Ляшенко*

**ПЛАНИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ ДВИЖЕНИЙ  
ГРУЗОЗАХВАТНОГО ОРГАНА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОГРУЗЧИКА**

**Институт архитектуры и строительства  
Волгоградского государственного технического университета**

E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

В настоящее время на автоматизированном производстве при работе со штучными грузами цилиндрической формы широкое применение находят погрузчики с полуавтоматической системой управления. При выполнении такого технологического процесса необходимо, чтобы грузозахватный орган совершал оптимальные перемещения от груза до места укладки. Поэтому предлагается рассмотреть и рассчитать позиционирование грузозахватного органа погрузочного агрегата. Проведен расчет обратной задачи перемещения захватного устройства. Рассмотрен синтез траекторий перемещения выходного звена грузозахватного органа в пространстве.

*Ключевые слова:* автоматизированный погрузчик, позиционирование, захват, манипулятор, механизм, траектория, привод, звенья, обобщенные координаты, груз.

*M. E. Nikolaev, V. A. Perfilov, D. A. Lyashenko*

**PLANNING OF OPTIMAL PROGRAM MOVEMENTS OF THE  
LIFTING BODY OF AN AUTOMATED LOADER**

**Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University**

Currently, loaders with a semi-automatic control system are widely used in automated production when working with cylindrical piece loads. When performing such a technological process, it is necessary that the cargo handling body makes optimal movements from the cargo to the place of laying. Therefore, it is proposed to consider and calculate the positioning of the lifting body of the loading unit. The calculation of the inverse problem of moving the gripper is carried out. The synthesis of trajectories of movement of the output link of the lifting body in space is considered.

*Keywords:* automated loader, positioning, gripper, manipulator, mechanism, trajectory, drive, links, generalized coordinates, cargo.

При погрузочных работах на автоматизированном производстве достаточно широкое применение находят полуавтоматические погрузочно-транспортные агрегаты, при штабелировании штучных грузов, в виде бочек или труб.

В частных случаях исследования показали, что с такой задачей погрузчики справляются, но приходится достаточно часто маневрировать шасси для подвода рабочего органа к захватываемому объекту.

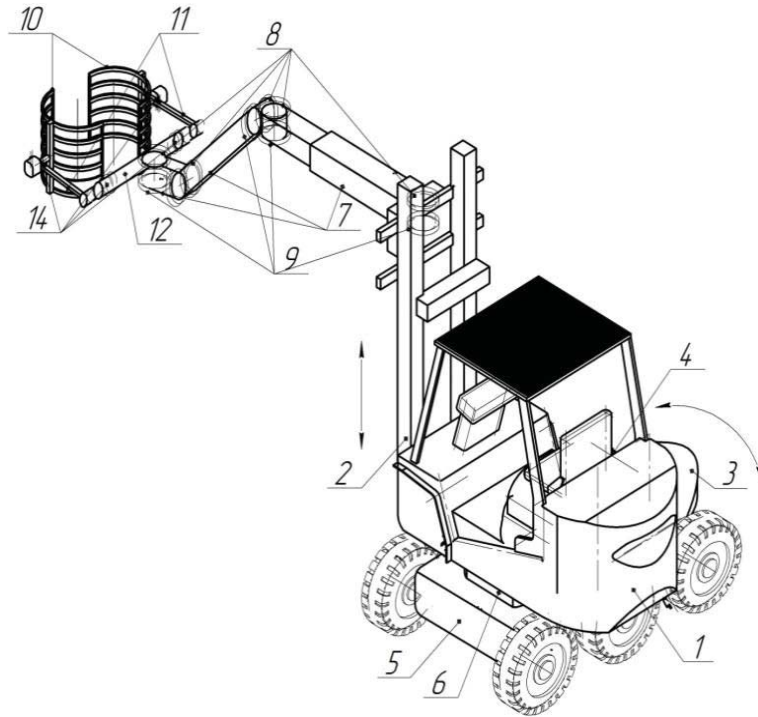


Рис. 1. Общий вид погрузочного агрегата

Поэтому для решения этих недостатков, предлагается рассмотреть, конструкцию автоматизированного погрузчика с манипулятором последовательной структуры, рассмотреть позиционирование захватного устройства, провести синтез траекторий грузозахватного органа [1, 2].

Погрузчик состоит из рамы 1, подъемника 2, противовеса 3, аккумуляторов 4, шасси 5, поворотной части 6, приводов 7, 8, 12, цилиндрических шарниров 9, 14, клещей 10, звеньев 11, серводвигателей 13.

Работа полуавтоматической системы управления автоматизированным погрузочным агрегатом заключается в следующем: подвод

шасси и манипулятора к захватываемому объекту происходит в ручном режиме оператором погрузчика, а захват и перемещение груза в сменный контейнер осуществляется в автоматическом режиме по заданным координатам.

Основной задачей позиционирования является нахождение обобщенных координат  $\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \Delta y_2, \Delta z_1$ , которые зависят от перемещения выходного звена манипуляционного устройства точки (E), между неподвижной системой координат  $Oxyz$ , и подвижной  $O_5x_5y_5z_5$  и направляющих косинусов  $a$  (рис. 2). Поэтому для решения этой задачи нужно решить систему из 6 уравнений связи (1).

$$\begin{cases} x_E = \sin\alpha(d-a+\Delta y_2) - \sin\alpha(d+\Delta y_2) + c(\cos\gamma\cos\beta\sin\alpha + \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha) - b\cos\beta\sin\alpha \\ y_E = f - \cos\alpha(d-a+\Delta y_2) + \cos\alpha(d+\Delta y_2) - c(\cos\gamma\sin\beta\cos\alpha + \sin\gamma\cos\alpha\sin\beta) + b\cos\beta\cos\alpha \\ z_E = \Delta z_1 + e + b\sin\beta - c(\cos\lambda\sin\beta - \sin\gamma\cos\beta) \\ a_{31} = \cos\gamma\cos\beta\sin\alpha + \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha \\ a_{32} = -\cos\gamma\cos\beta\cos\alpha - \sin\gamma\cos\alpha\sin\beta \\ a_{33} = \sin\gamma\cos\beta - \cos\gamma\sin\beta \end{cases} \quad (1)$$

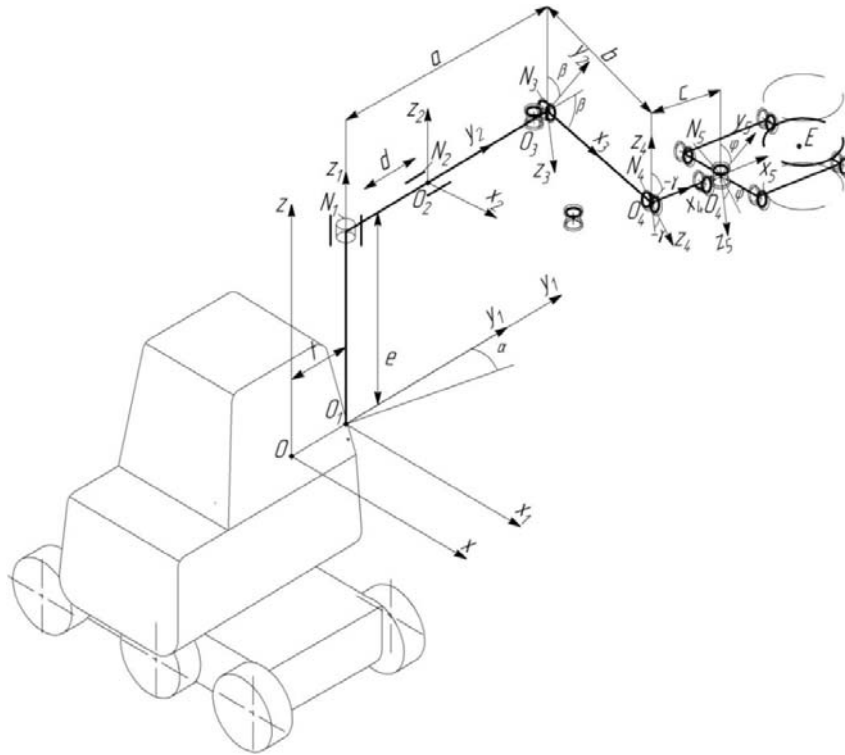


Рис. 2. Кинематическая схема погрузчика

При заданных значениях манипуляционного устройства,  $d=550$  мм;  $a=1100$  мм;  $e=270$  мм;  $b=1400$  мм;  $c=250$  мм;  $f=400$  мм, и для задаваемых значений координат в пространстве  $x_E = 2010$  мм,  $y_E = 1850$  мм,  $z_E = 470$  мм,  $a_{31} = \cos \frac{\pi}{4}$ ,  $a_{32} = \cos \frac{\pi}{3}$ , определяемые значения равны  $\alpha = -1.057$  рад,  $\beta = 0.263$  рад,  $\varphi = 0.168$  рад,  $\gamma = 0.174$  рад,  $\Delta y_2 = 100$  мм,  $\Delta z_1 = -92.268$  мм.

После того как, решена обратная задача позиционирования выходного звена грузозахватного органа, нужно определить законы изменения обобщенных координат  $q_i(t)$ . Для решения этой задачи нужно выбрать один из стандартных законов, чтобы он удовлетворял поставленным условиям. В частности считается, что углы поворота исполнительных приводов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi$ , и координаты конечного положения грузоза-

хватного органа  $\Delta y, \Delta z, \Delta x$  заданы. При условии плавного трогания шасси и касания захватываемого объекта, в таком случае скорости и ускорения в начальном и конечном положении будут равны нулю. Такому условию подходит синусоидальный закон программного движения исполняющего органа (2) [3, 4].

$$q(t) = q_0 + (q_k - q_0) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right] \quad (2)$$

где  $q_0$  и  $q_k$  – обобщенные координаты, при начальном и конечном положении;  $t$  – текущее время движения исполнительных звеньев, с;  $T$  – конечное время движения исполнительных звеньев, с.

Тогда законы изменения обобщенных координат, можно записать в виде (3)

$$\begin{cases} \alpha(t) = \alpha_0 + (\alpha_k - \alpha_0) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right], \\ \beta(t) = \beta_0 + (\beta_k - \beta_0) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right], \\ \gamma(t) = \gamma_0 + (\gamma_k - \gamma_0) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right], \\ \varphi(t) = \varphi_0 + (\varphi_k - \varphi_0) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right], \\ \Delta z_1(t) = \Delta z_{1,0} + (\Delta z_{1,k} - \Delta z_{1,0}) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right], \\ \Delta y_2(t) = \Delta y_{2,0} + (\Delta y_{2,k} - \Delta y_{2,0}) \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right] \end{cases} \quad (3)$$

Подставив формулу (1) законы изменения  $q_i(t)$ , получим зависимости (4) изменения координат от времени.

$$\begin{cases} x_E(t) = \sin\alpha(t)(d-a + \Delta y_2(t)) - \sin\alpha(t)(d + \Delta y_2(t)) + c(\cos\gamma(t)\cos\beta(t)\sin\alpha(t) + \\ + \sin\gamma(t)\sin\beta(t)\sin\alpha(t)) - b\cos\beta(t)\sin\alpha(t) \\ y_E(t) = \cos\alpha(t)(d + \Delta y_2(t)) - c(\cos\gamma(t)\sin\beta(t)\cos\alpha(t) + \sin\gamma(t)\cos\alpha(t)\sin\beta(t)) + \\ + b\cos\beta(t)\cos\alpha(t) + f - \cos\alpha(t)(d - a + \Delta y_2) \\ z_E(t) = \Delta z_1(t) + e + b\sin\beta(t) - c(\cos\gamma(t)\sin\beta - \sin\gamma(t)\cos\beta(t)) \end{cases} \quad (4)$$

В результате чего получаем график (рис. 4) закона программного перемещения выходного звена грузозахватного органа.

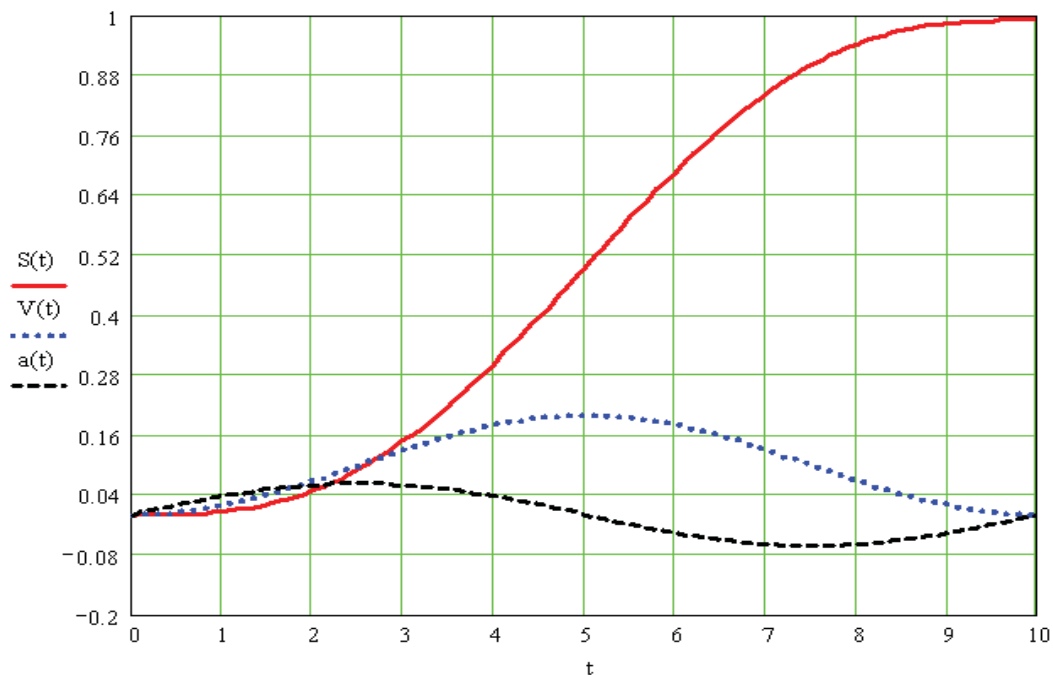


Рис. 3. Закон программного движения по заданной траектории

Исследование перемещения выходного звена захватного устройства манипулятора по заранее определенной и неопределенной траектории считался по следующему принципу [5].

Перемещение по неопределенной траектории, определялось исходя из начальных положений обобщенных координат  $\alpha, \beta, \gamma, \varphi, \Delta y_2, \Delta z_1$ , после чего, находись начальные координаты исполнительного звена в точке  $E_0$  и принимались значения, требуемых координат конечного перемещения точки  $E_k(x_{Ek}, y_{Ek}, z_{Ek})$  [6].

Перемещение по прямолинейной траектории, определялось с учетом выбранного синусоидального закона перемещения (5):

$$S(t) = S_k \cdot \left[ \frac{t}{T} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right] \quad (5)$$

С учетом данного закона получили програм-

мные законы изменения значения  $q_i(t)$  – (6):

$$\begin{aligned} X_E(t) &= \frac{S(t) + X_{E0}K_X}{K_X}, \\ Y_E(t) &= \frac{S(t) + Y_{E0}K_Y}{K_Y}, \\ Z_E(t) &= \frac{S(t) + Z_{E0}K_Z}{K_Z} \end{aligned} \quad (6)$$

где  $K_x, K_y, K_z$  константы, начальных и конечных конфигураций системы для соответствующих осей  $x, y, z$ .

Получен график движения точки  $E$  по прямой и по неопределенной траектории в пространстве. Из графика видно что в любом, из случаев результат один и тот же (перемещение точки  $E$  из начального в конечное положение), что свидетельствует о правильности математической модели [7].

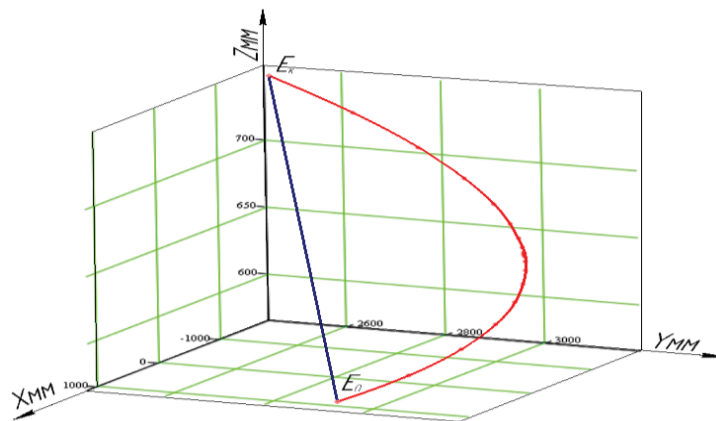


Рис. 4. Перемещения точки E в пространстве по прямолинейной и заранее неопределенной траектории

В результате расчетов предложен и рассмотрен автоматизированный погрузчик с манипулятором последовательной структуры, рассчитано позиционирование грузозахватного органа. Решена обратная задача перемещения захватного устройства. Рассмотрен синтез планирования оптимальных траекторий перемещения выходного звена грузозахватного органа в пространстве.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жадановский, Б. В. Организация строительно-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в строительстве автомобильными кранами / Б. В. Жадановский, С. А. Синенко, И. М. Мирошникова // Системные технологии. – 2018. – № 2 (27). – С. 41–48.
2. Лагереv, А. В. Влияние анкерovки выносных опор на устойчивость мобильных транспортно-технологических машин, оснащенных стреловыми манипуляционными системами / А. В. Лагереv, И. А. Лагереv // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – № 2. – С. 152–169.
3. Ковалева, Т. Е. Сравнительный анализ вил погрузчика компьютерным моделированием / Т. Е. Ковалева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 316–318.
4. Потахов, Е. А. Методика контроля местной и общей устойчивости телескопической стрелы грузоподъемного крана / Е. А. Потахов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16. – № 2 (66). – С. 110–121.
5. Nikolaev M. E., Nesmianov I. A., Zaharov E. N. Definition of service area of agricultural loading robot with manipulator of parallel-serial structure // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 747(1). doi: 10.1088/1757-899X/747/1/012125
6. Nikolaev, M., Nesmianov, I., Zhoga, V., Ivanov, A. Justification Parameters and Planning Capture Trajectories for Robotic Loading and Transport // Smart Innovation, Systems and Technologies 2022. 245. doi: 10.1007/978-981-16-3349-2\_20
7. Zhoga V. V., Skakunov V. N., Terekhov S. E., Belikov V. A. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers International Review of Mechanical Engineering. 2017. T. 11. № 5. pp. 337–342.