

УДК 681.5

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-3-298-71-74

М. Е. Николаев, В. А. Перфилов, А. И. Демченко, Н. С. Бочкарев

**ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ЗАХВАТА МАНИПУЛЯТОРА
ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА
ПО КРИТЕРИЯМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Волгоградский государственный технический университет

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

demcenkoanna719@gmail.com; Nikita_bochkarev_200@mail.ru

В современном мире в нефтегазовой промышленности при работе на складских платформах, при погрузке штучных грузов широко применяются погрузочные средства. В процессе выполнения погрузочно-транспортных операций функциональных возможностей манипуляционного механизма погрузчика и маневрирования шасси относительно погружаемого и транспортируемого объекта не хватает. Поэтому предлагается использовать полуавтоматизированный погрузчик на базе штабелера с тремя манипуляторами последовательной структуры, транспортной лентой с удерживающими устройствами для груза и сменным контейнером. Погрузчик позволяет автоматизировать процесс погрузки и разгрузки цилиндрических грузов на объектах нефтегазовой отрасли. В результате работы рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью. Рассмотрена задача планирования программных движений грузозахватного органа.

© Николаев М. Е., Перфилов В. А., Демченко А. И., Бочкарев Н. С., 2025.

Ключевые слова: погрузчик, степень подвижности, манипулятор, грузозахватный орган, сменный контейнер, цилиндрический груз, транспортная лента

M. E. Nikolaev, V. A. Perfilov, A. I. Demchenko, N. S. Bochkarev

PLANNING OF THE CAPTURE TRAJECTORIES OF THE MANIPULATOR OF A SEMI-AUTOMATED LOADING AND TRANSPORT UNIT ACCORDING TO ENERGY EFFICIENCY CRITERIA

Volgograd State Technical University

In the modern world, loading facilities are widely used in the oil and gas industry when working on warehouse platforms and when loading bulk cargoes. In the process of performing loading and transportation operations, the functionality of the loader's handling mechanism and chassis maneuvering relative to the object being loaded and transported is lacking. Therefore, it is proposed to use a semi-automated loader based on a stacker, with three manipulators of a sequential structure, a conveyor belt with cargo restraints, and a removable container. The loader allows you to automate the process of loading and unloading cylindrical loads at oil and gas facilities. As a result of the work, the technological process of loading and transportation operations of oil barrels is considered. The problem of planning the program movements of a lifting body is considered

Keywords: loader, degree of mobility, manipulator, lifting body, replaceable container, cylindrical load, conveyor belt

На данный момент на нефтегазовых предприятиях, при выполнении технологической операции погрузки и транспортировки штучных грузов, используют погрузчики штабелеры с различными грузозахватными устройствами. В целях автоматизации погрузочных работ, разработана конструкция погрузчика, имеющего три манипулятора, захватные устройства в виде клещей, транспортную ленту и сменный контейнер, которые позволят увеличить его производительность. Представлен технологический процесс. Рассмотрена задача планирования программных движений грузозахватного органа, когда цилиндрический груз располагается на объекте нефтегазовой отрасли в случайном порядке, при этом погрузчик движется с постоянной скоростью и выполняет заданный технологический процесс [1–3].

Для наибольшей эффективности работы погрузчика предлагается решить задачу планирования программных движений грузозахватного органа, когда цилиндрический груз расположен в хаотичном порядке и погрузчик движется с постоянной скоростью. Задача решается нахождением кратчайшего маршрута движения захвата (рисунок).

На объекте нефтегазовой отрасли в произвольном порядке расположены бочки с нефтью в точках $C_1, C_2, \dots, C_N$. Погрузчик перемещается с заданной скоростью, которая постоянна в соответствии с заданной программой ($V_{\text{сш}} = \text{const}$).

В кузов 1 погрузочно-транспортного средства с помощью манипулятора и транспортной ленты бочки направляются к кузову и происходит их захват и последующее размещение [4, 5].

Задача оптимального размещения бочек в кузове шасси решается путем нахождения

кратчайшего пути, который проходит через S_{12}, S_{23}, S_{34} и т. д.

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n S_{i,i+1} \rightarrow \min. \quad (1)$$

В точке C_1 осуществляется захват бочки с нефтью. Затем грузозахватное устройство перемещает груз на конвейерную ленту в соответствии с заданными координатами, в результате чего точки M и C_1 совпадают.

Груз поднимается и захватывается с помощью свободного манипулятора, который перемещается по транспортеру. Затем он следует по кратчайшему маршруту P_i , к месту назначения. После чего происходит установка бочки в ближайшую точку сменного контейнера. В этом случае оптимальным перемещением будет то, которое осуществлялось по прямой линии.

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n P_i \rightarrow \min. \quad (2)$$

Во время перемещения погрузчика $L_{\text{сш}}$, осуществляется перемещение захватного устройства H_1 (рисунок, б), по траектории P_1 .

Как только осуществится погрузка бочки C_1 грузозахватный орган перемещается к следующему захватываемому объекту C_2 . В случае, когда на пути движения захвата H_1 нет никаких препятствий, он может перемещаться по любой траектории. В таком случае, в качестве следующего показателя результативности можно рассматривать функцию, которая стремится минимизировать время.

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{M_{cp}}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $V_{\text{сш}} = \text{const}$; $V_{M_{cp}}$ – средняя скорость движения захвата в точке M за один цикл перемещения.

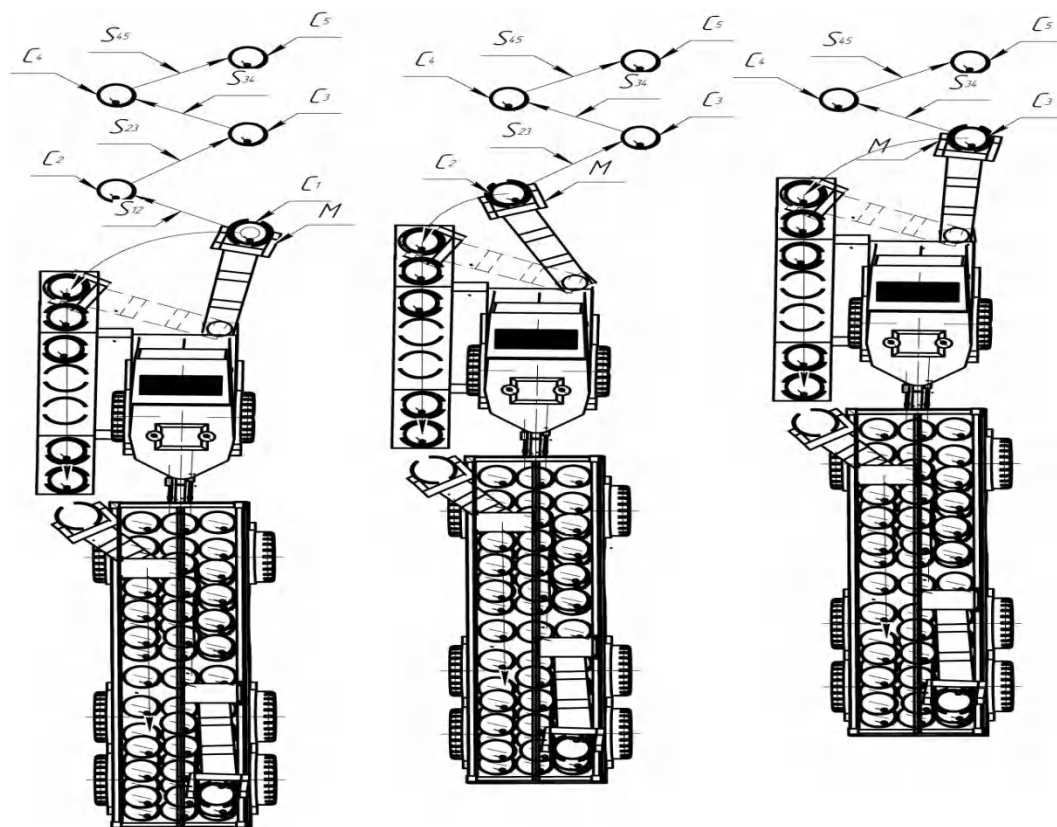


Схема программных движений исполнительных приводов манипулятора

Когда происходит захват бочки, грузозахватное устройство, следуя по траектории P_{i+1} , перемещается из точки C_2 в ближайшую свободную точку кузова. Этот процесс продолжается до тех пор, пока кузов погрузочно-транспортного агрегата не будет полностью заполнен.

В результате анализа были определены следующие критерии эффективности (1, 2, 3). Бочка загружается в кузов погрузчика по кратчайшей траектории P_i , так же перемещаем и грузозахватный органа к захватываемому объекту по траектории S_i . На перемещение H_i затрачиваем минимальное время.

Для создания траектории движения грузозахватного органа манипуляционного механизма, задаемся законом изменения траектории от времени.

Чтобы сформировать траекторию движения захвата манипулятора, нужно выяснить, как она меняется в зависимости от времени.

$$S_i(t) = \frac{(u_i^2 + u_{i-1}^2) \cdot V_{\max}^2 \cdot t^2}{4S'_i} + u_{i-1} \cdot V_{\max} \cdot t, \quad (4)$$

$u_i = V_i/V_{\max}$ в точке траектории, соответствующей i -му значению, скорость для выбранных приводов варьируется от 0,325 до 1;

$V_{\max} = 0,2$ м/с – скорость движения грузозахватного устройства; $S'_i = 1,1 \dots 3,2$ м – расстояние от груза до груза на i -м интервале.

Средняя скорость работы грузозахватного механизма на i -м отрезке пути, рассчитывается следующим образом.

$$V_i(S) = V_{\max} \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{S'_i} \cdot S + u_{i-1} \right). \quad (5)$$

Важным критерием является то, насколько равномерно погрузчик перемещается по складу. Продолжительность технологической операции по загрузке бочек определяется по формуле:

$$T_{III} = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{N-1} l_i}{P_p} \cdot k_y + T_{ВЦ}, \quad (6)$$

N – число погружаемых объектов, находящихся в грузовом отсеке; l_i – расстояние между грузами; V_{cp} – средняя скорость передвижения погрузочно-транспортного агрегата; P_p – вероятность того, погрузочный агрегат задействован в работе; k_y – коэффициент потерь времени, который зависит от организации процесса погрузки, разгрузки и транспортировки бочек с нефтью,

а также от их пространственного размещения; $T_{вц}$ – время, которое уходит на техническое обслуживание погрузчика и не связано с его использованием.

Производительность погрузчика вычисляется с учетом того, что он будет перемещать грузы одинаковой массы, и выражается в виде.

$$W_T = n \cdot Q_n \cdot k_{zp} \cdot k_B \quad (7)$$

где $n = 3600/t_{ц}$ – алгоритмы движения захватываемых объектов, обеспечивающие непрерывную работу; $Q_n = 0,035 \dots 0,05$ т – масса погружаемого объекта; $k_{zp} = 0,65 \dots 0,85$, $k_B = 0,91$ – коэффициент, отражающий соотношение между весом груза и временем работы погрузочно-транспортного механизма; $t_{ц}$ – продолжительность движения захвата в рамках одного цикла, с.

Основываясь на формулах (4) и (5), можно определить длительность цикла:

$$t_{ц} = \varepsilon \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{v_i} + t_{II} \right), \quad (8)$$

где $\varepsilon = 0,7 \dots 0,8$ – коэффициент, который отражает степень совмещения технологических процессов; t_{II} – время, которое требуется для того, чтобы остановить, захватить и освободить объект, с.

В результате формулы (7) и (8) преобразуются следующим образом.

$$W_t = \frac{3600 \cdot Q_n \cdot k_{zp} \cdot k_B}{\varepsilon \sum_{i=1}^n \left(\frac{S_i}{v_i} + t_{II} \right)}. \quad (9)$$

Для проектируемого погрузчика, учитывая ранее принятые параметры, расчетная производительность составила 1,55, 1,62 и 1,89 т/ч при работе с грузами (бочками) весом 30, 40 и 50 кг соответственно [6, 7].

В результате работы представлен общий вид погрузочно-транспортного агрегата, рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью в четыре этапа. Рассмотрена задача планирования программных движений грузозахватного органа.

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. 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.
3. 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.
4. Макеева, Е. И. Повышение эффективности эксплуатации погрузочной машины 2пнб-2 путем внедрения автоматизированного управления процессов подачи / Е. И. Макеева, М. Д. Мирославская // Наука и творчество: вклад молодежи : сб. матер. всерос. молодежной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Махачкала, 2020. – С. 238–241.
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. 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.
7. 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