

М. Е. Николаев, Е. Ю. Дубцова, А. И. Демченко, Н. С. Бочкарев

**ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЙ АГРЕГАТ
ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ**

Институт архитектуры и строительства

Волгоградского государственного технического университета

E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru, Elenakozlovtseva@gmail.com,
demcenkoanna719@gmail.com, Nikita_bochkarev_200@mail.ru

В современном мире в нефтегазовой промышленности широко используются погрузочно-транспортные агрегаты в складских помещениях, при монтаже и эксплуатации буровых установок, при прокладке трубопроводов. 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.

Впоследствии предложенный погрузчик позволит автоматизировать процесс погрузки и разгрузки цилиндрических грузов на объектах нефтегазовой отрасли. В результате работы представлена 3d-модель погрузочно-транспортного агрегата, рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью в четыре этапа. Рассмотрены геометрические и структурные параметры погрузчика, опреде-

лена степень свободы механизма. Проведено кинематическое исследование манипуляторов погрузчика. Сформированы зоны обслуживания погрузчика, и представлены ограничения точки E выходного звена грузозахватного органа в декартовой системе координат.

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

M. E. Nikolaev, E. Yu. Dubtsova, A. I. Demchenko, N. S. Bochkarev

SEMI-AUTOMATED LOADING AND TRANSPORT UNIT FOR CYLINDRICAL PIECE LOADS

Institute of Architecture and Construction of Volgograd State Technical University

In the modern world, loading and transport units are widely used in the oil and gas industry, in warehouses, during the installation and operation of drilling rigs, and during the laying of pipelines. In the process of performing loading and transport operations, the functionality of the loader's manipulating mechanism and maneuvering the chassis, relative to the object being loaded and transported, is not enough. 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 replaceable container. Subsequently, the proposed loader will automate the process of loading and unloading cylindrical cargoes at oil and gas industry facilities. As a result of the work, a 3d model of a loading and transport unit is presented, the technological process of loading and transport operations of oil barrels in four stages is considered. The geometric and structural parameters of the loader are considered, the degree of freedom of the mechanism is determined. A kinematic study of loader manipulators has been carried out. The loader service areas are formed and the limitations of the point E of the output link of the load-handling body in the Cartesian coordinate system are presented.

Keywords: loader, degree of mobility, manipulator, lifting body, removable container, cylindrical cargo, conveyor belt

В настоящее время в нефтегазовой промышленности на производственных процессах погрузки, разгрузки и транспортировке цилиндрических грузов, в частности бочек с нефтью активно используются погрузчики на базе штабелера. В ходе выполнения технологической операций возникает необходимость в дополнительном маневрировании шасси и манипуляци-

онным механизмом погрузочно-транспортного агрегата, что в свою очередь приводит к снижению его производительности. Поэтому предлагается использовать полуавтоматизированный погрузчик на базе штабелера с тремя манипуляторами последовательной структуры и сменным контейнером [1, 2].

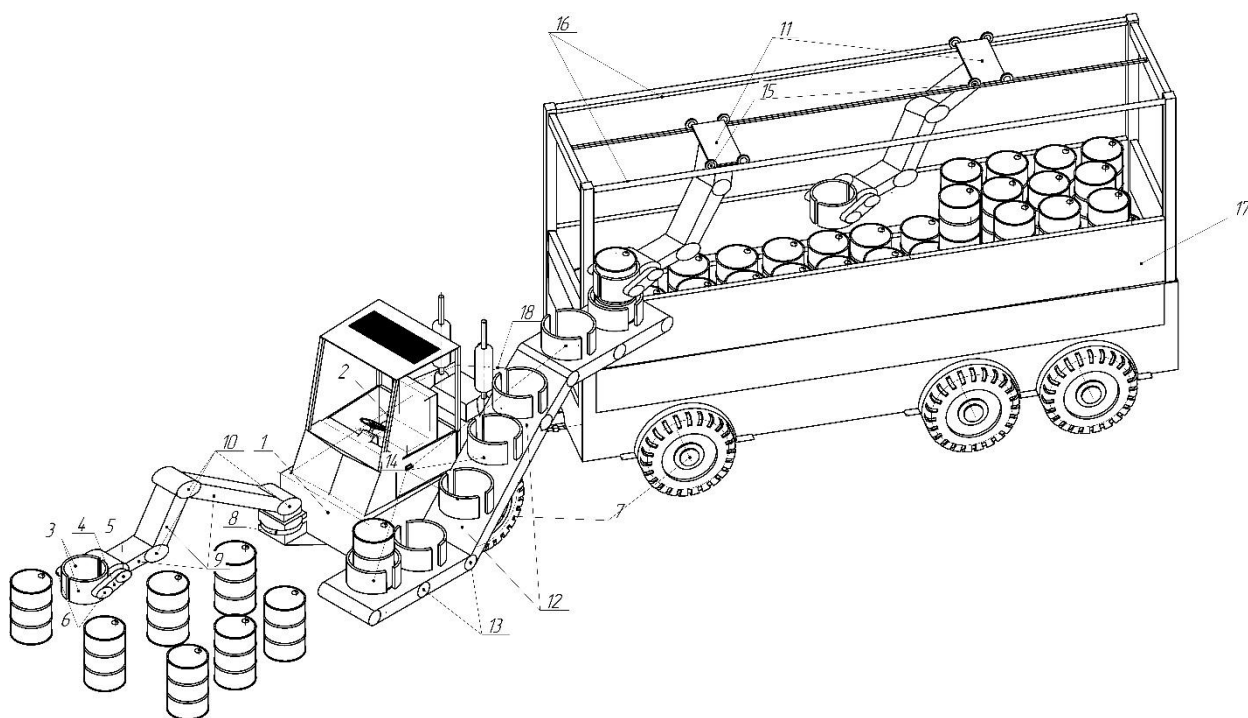


Рис.1. Общий вид погрузочно-транспортного агрегата:

1 – рама; 2 – кабина; 3 – дугообразное звено; 4 – звено, 5 – серводвигатель; 6 – опорный ролик; 7 – двухосное шасси; 8 – поворотное основание; 9 – исполнительные звенья; 10 – привод манипулятора; 11 – шарнир; 12 – конвейерная лента; 13 – ролики; 14 – лопасти; 15 – колеса; 16 – рама; 17 – выдвижной контейнер

Полуавтоматизированный погрузчик состоит из рамы 1, на которую устанавливается кабина 2, в которой размещен аккумуляторный блок 18. Поворотного основания 8, на котором установлен манипулятор последовательной структуры, состоящий из трех звеньев 9 и четырех исполнительных приводов 10, соединенных шарнирами 11, которые позволяют осуществлять необходимое позиционирование грузозахватного органа, состоящего из серводвигателей 5 и дугообразных звеньев 3. К раме погрузчика прикреплена транспортная конвейерная лента 12, механизм и поддержка которой осуществляются благодаря роликам 13, на са-

мой ленте установлены удерживающие устройства цилиндрической формы 14, предназначенные для фиксации груза во время движения. Кузов погрузчика выполнен выдвижными вертикальными опорами, верхняя часть которых оборудована рельсами, по которым перемещаются платформы 11, на которые в свою очередь крепятся два манипулятора. Кроме того, кузов погрузчика оснащен выдвижным сменным контейнером 17, процесс извлечения которого осуществляется посредством вращения роликов в нижней части кузова (рис. 1).

Работа погрузочно-транспортного агрегата разделяется на четыре этапа (рис. 2).

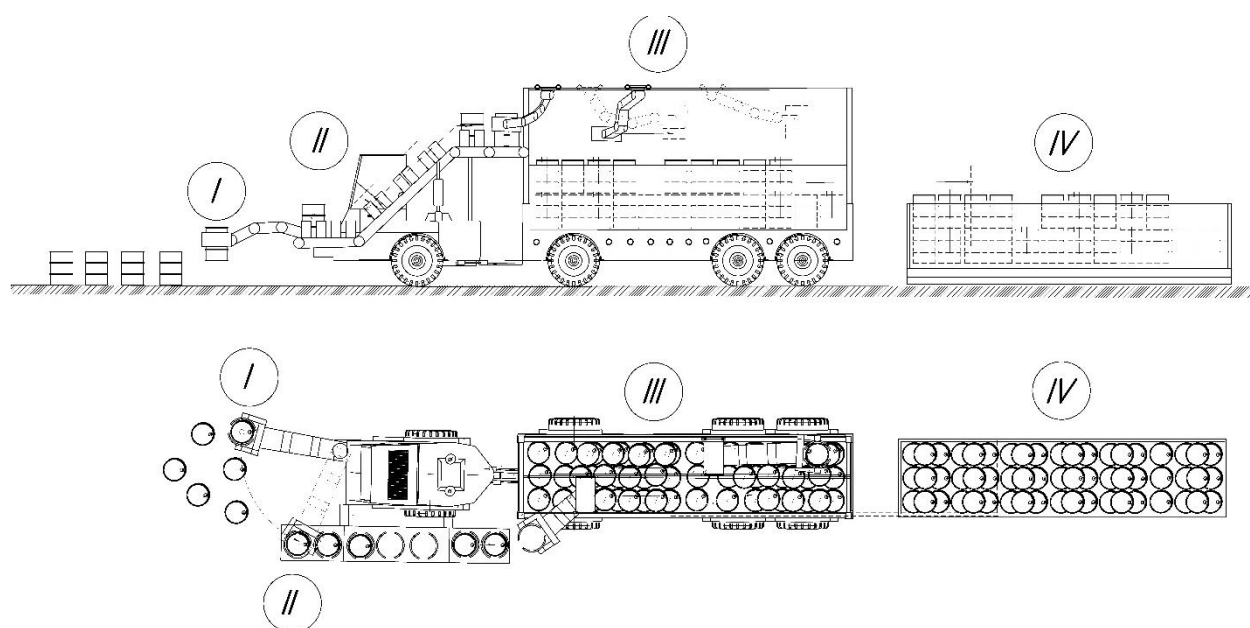


Рис. 2. Технологический процесс погрузки, транспортировки и разгрузки бочек

На первом этапе технологического процесса погрузочно-транспортный агрегат, под управлением оператора, осуществляет необходимое перемещение и маневрирование по промышленному объекту с помощью 4-х осного шасси до цилиндрического груза, например, до бочки с нефтью, после чего останавливается. С помощью поворотной платформы, исполнительных звеньев и приводов манипулятора грузозахватный орган подводится к захватываемому объекту в вертикальной и горизонтальной плоскости в ручном режиме с помощью оператора.

На втором этапе происходит захват груза клещевым грузозахватным органом, выполненным из трех звеньев. Далее в автоматическом режиме происходит перемещение объекта на транспортную ленту, где он устанавливается в специальные удерживающие устройства для

обеспечения лучшей устойчивости во время перемещения. На раме ленты расположены два датчика перемещения, которые замедляют ее, когда объект устанавливается или снимается.

На третьем этапе, используя два поочередно подходящих манипулятора последовательной структуры на роликовых основаниях с электроприводом, груз захватывается и по заданным координатам помещается в сменный контейнер.

На четвертом этапе, когда контейнер наполнился, он выгружается из транспортного основания с помощью приводных роликов и загружается на транспортное средство или место хранения.

Подвод рабочего органа, захвата груза и установка на транспортную ленту осуществляется в ручном режиме, а все остальные опера-

ции в автоматическом: захват бочки с транспортной ленты, перемещение манипулятора по кузову погрузчика и установка груза в сменном контейнере.

При работе погрузчика, может произойти заклинивание манипуляционных механизмов, поэтому необходимо произвести кинематический анализ погрузочно-транспортного агрегата.

Структурная схема механизма, имеет три одинаковых манипулятора последовательной структуре. Степень подвижности, которых равна 5, манипулятор который расположен спереди на раме погрузчика может иметь шесть в степеней подвижности за счет глобального перемещения шасси, остальные два, которые крепятся в задней части погрузчика к раме кузова, могут так же иметь шесть степеней свободы за счет перемещения оснований с роликовыми опорами на которых они расположены (N_1 , N_2 ,

N_3 , N_4 , N_5). При правильной работе механизма, должно соблюдаться условие нормальности – количество звеньев должно соответствовать степени свободы $W=N$. Определение степени подвижности манипуляторов погрузчика определялась по формуле Сомова-Малышева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 4p_3 = 5, \quad (1)$$

где $W(n, p_i)$ – степень свободы механизма манипулятора погрузчика; n – количество подвижных звеньев в манипуляционном механизме погрузчика; p_i – класс кинематической пары i -й подвижности.

Основной задачей при кинематическом исследовании механизма является построение рабочей зоны обслуживания, формирование которой происходит за счет перемещения точки E выходного звена грузозахватного органа (рис. 3).

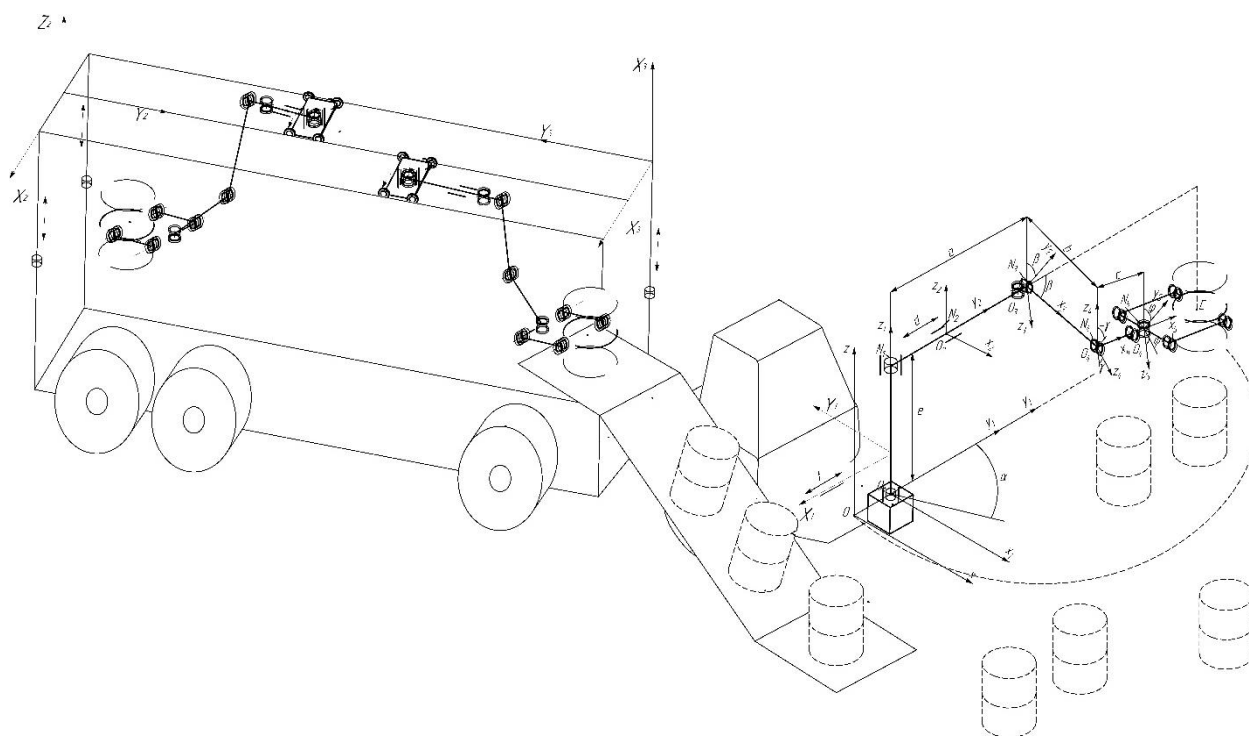


Рис. 3. Кинематическая схема погрузчика с ломаным шасси и тремя манипуляторами

Позиционирование грузозахватного органа определяется матрицами перехода $M_{i,i}$ от подвижной системы к неподвижной, которые описывают положение i звена относительно $(i-1)$.

$$M_{05} = M_{01} \cdot M_{12} \cdot M_{23} \cdot M_{34} \cdot M_{45}. \quad (2)$$

Переход от старого базиса к новому в линейной системе осуществляется с помощью единичных векторов i и $(i-1)$.

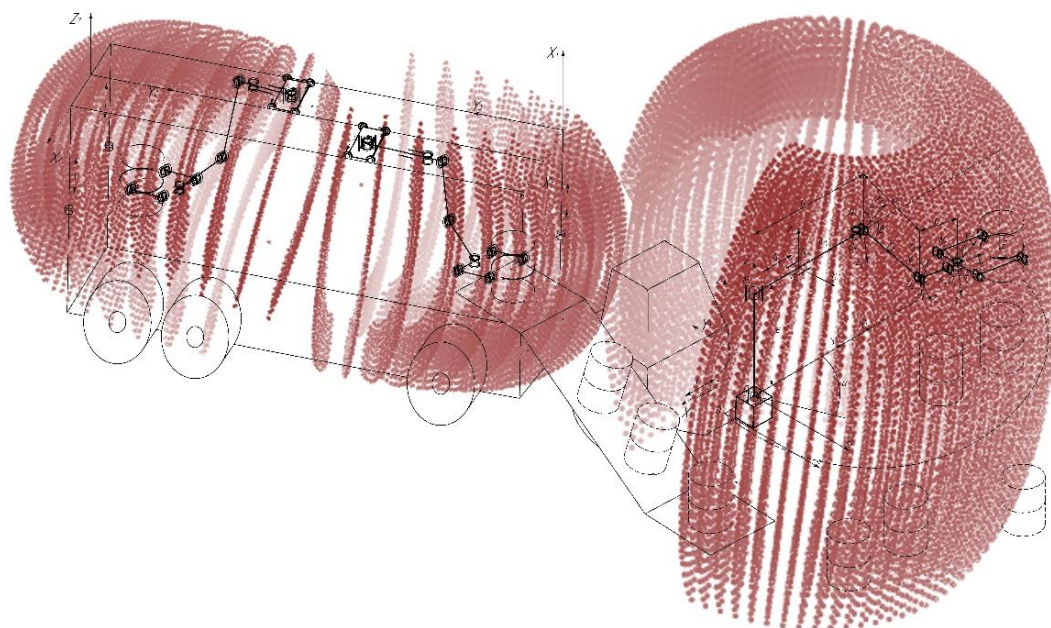


Рис. 4. Зона обслуживания погрузчика с ломаным шасси и тремя манипуляторами

$$\begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \\ z_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_{i-1}, x_i) & \cos(x_{i-1}, y_i) & \cos(x_{i-1}, z_i) \\ \cos(y_{i-1}, x_i) & \cos(y_{i-1}, y_i) & \cos(y_{i-1}, z_i) \\ \cos(z_{i-1}, x_i) & \cos(z_{i-1}, y_i) & \cos(z_{i-1}, z_i) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{i-1,i} \\ y_{i-1,i} \\ z_{i-1,i} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $x_i = [x_i, y_i, z_i]$ – единичный вектор в i системе координат; $x_{i-1,i} = [x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}]$ – вектор направляющих косинусов.

Рабочая зона обслуживания манипулятора погрузчика строится, за счет изменения

исполнительных звеньев и углов поворота $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$.

При расчетах теоретически возможной зоны обслуживания получены следующие уравнения связи

$$\begin{cases} x_E = \sin \alpha (d - a + \Delta y_2) + c(\sin \beta \sin \alpha^2 + \cos \gamma \cos \beta \sin \alpha) - b \cos \beta \sin \alpha \\ y_E = f - \cos \alpha (d - a + \Delta y_2) + \cos \alpha (d + \Delta y_2) - c(\cos \alpha \sin \beta \sin \alpha + \cos \gamma \cos \beta \cos \alpha) + b \cos \beta \cos \alpha \\ z_E = \Delta z_1 + e - c(\cos \gamma \sin \beta - \cos \beta \sin \alpha + b \sin \beta \end{cases}, \quad (4)$$

Перемещение точки E выходного звена грузозахватного органа находится в следующих ограничениях: $x = -2002$ мм, $y = -1748$ мм, $z = -748.528$ мм, $x = 2002$ мм, $y = 2320$ мм, $z = 1220$ мм.

В результате работы представлена 3d-модель погрузочно-транспортного агрегата, рассмотрен технологический процесс погрузочно-транспортных операций бочек с нефтью в четыре этапа. Рассмотрены геометрические и структурные параметры погрузчика, определена степень свободы механизма. Проведено кинематическое исследование манипуляторов погрузчика. Сформированы зоны обслуживания погрузчика и представлены ограничения

точки E выходного звена грузозахватного органа в декартовой системе координат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов, А. В. Общий подход к решению обратной задачи кинематики для манипулятора последовательной структуры с помощью конечного поворота и смещения / А. В. Данилов, А. Н. Кропотов, О. В. Трифонов. – Москва : ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2018. – 15 с. : ил., табл. : 21 см.
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. *Галдин, Н. С.* Особенности проектирования основных механизмов мостовых кранов / Н. С. Галдин, С. В. Курбацкая, О. В. Курбацкая // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 5 (27). – С. 21–25.

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.* Defi-

nition 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. Т. 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