

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ И ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 621.878

DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_131

М. Е. Николаев, О. В. Душко, В. А. Перфилов, Н. В. Захаров

ФРОНТАЛЬНЫЙ ПОГРУЗЧИК С МАНИПУЛЯТОРОМ-ТРИПОДОМ

Аннотация. В современном мире на промышленных объектах все большее применение находят фронтальные погрузчики для погрузки цилиндрических штучных грузов. При штабелировании бочек или труб в некоторых случаях необходимо производить как дополнительное маневрирование шасси, так и дополнительное позиционирование грузозахватным органом погрузчика. Для этого целесообразно использовать фронтальный погрузчик с манипулятором-триподом. Рассмотрен процесс перемещения грузозахватного органа от момента захвата объекта до момента его погрузки. Разработана конструкция механизма погрузочно-транспортного агрегата. Рассчитана рабочая зона обслуживания погрузчика, которая, в свою очередь, является увеличенной по сравнению с базовой моделью за счет использования двухосного шасси, пространственно-параллелограммного механизма, телескопических приводов и манипулятора-трипода. Проведен геометрический, структурный и кинематический анализ. Исследования показали, что необходимое время на обход препятствий с учетом использования двухосного шасси составляет на 14 % меньше, а коэффициент производительности погрузчика равен 0,75 по отношению к базовой модели (патент RU 2722747 С1, Бюл. № 16).

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, рабочая зона, манипулятор-трипод, двухосное шасси, структурный синтез, геометрический синтез, кинематический синтез, телескопические приводы, пространственно-параллелограммный механизм.

Для цитирования: Фронтальный погрузчик с манипулятором-триподом / М. Е. Николаев, О. В. Душко, В. А. Перфилов, Н. В. Захаров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – С. 131–137. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_4_131.

Введение

В современном мире на промышленных объектах, для погрузки цилиндрических штучных грузов, в частности бочек с нефтью, используют фронтальные погрузчики. Во многих случаях при работе с такими грузами функциональных возможностей погрузчика достаточно, но при штабелировании бочек или труб необходимо производить как дополнительное маневрирование шасси, так и дополнительное позиционирование грузозахватным органом погрузчика. Необходимо провести численное и математическое моделирование от момента захвата объекта до момента его погрузки с использованием программного комплекса Mathcad с целью увеличения рабочей зоны обслуживания по сравнению с базовой моделью (патент RU 2722747 С1, Бюл. № 16) за счет использования двухосного шасси, пространственно-параллелограммного механизма, телескопических приводов и манипулятора-трипода [1, 2].

Основная часть

Погрузчик (рис. 1) содержит раму 1, грузозахватный орган, блок аккумуляторных батарей 2, установленных на раме 3 погрузчика. Захват выполнен в виде коромысел 4, установленных на звеньях 5, привода 6 и двух серводвигателей 7, имеющих крепления посредством цилиндрических шарниров 8, снабжен манипулятором, отличающимся тем, что шасси 9 погрузчика выполнено двухосным. Манипулятор погрузчика имеет три исполнительных привода 10, соединенных с одной стороны сферическим шарниром 11 с кинематической парой третьего класса, с другой стороны имеет крепления посредством цилиндрических шарниров 12 с кинематической парой пятого класса. Дополнительно содержит сменный контейнер 13, пространственно-параллелограммный механизм которого управляется за счет телескопических гидроцилиндров 14, причем стойки 15 пространственно-параллелограммного механизма выполнены телескопическими, в прямоугольном основании 16 находится платформа 17, которая управляется за счет двух серводвигателей 18, имеющих крепления посредством цилиндрических шарниров 19 с кинематической парой пятого класса [3, 4].

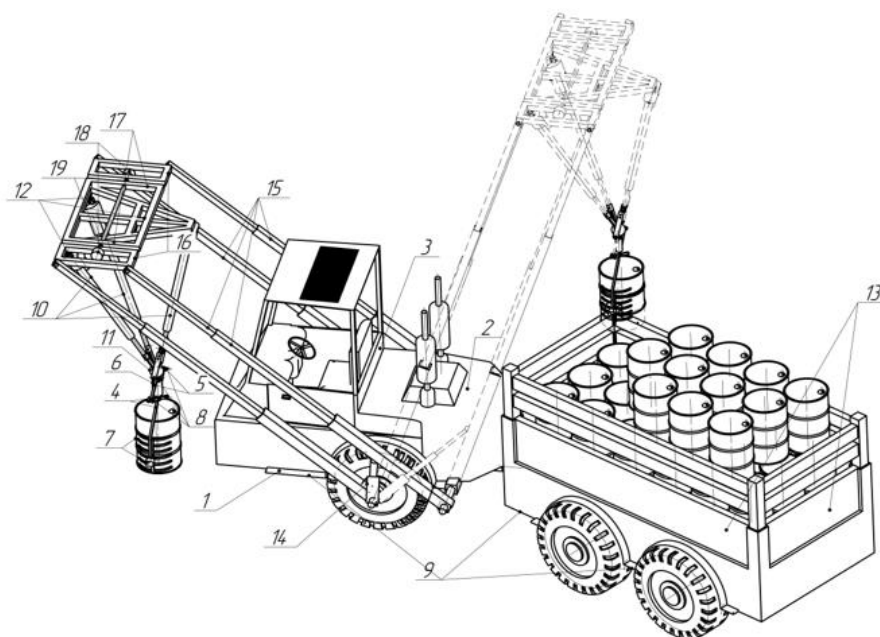


Рис. 1. Общий вид фронтального погрузчика:

1 – рама; 2 – блок аккумуляторных батарей; 3 – кабина погрузчика; 4 – коромысла, 5, 6, 10 – исполнительные приводы; 7, 18 – серводвигатели; 8, 12, 19 – цилиндрические шарниры; 9 – шасси; 11 – сферический шарнир; 13 – сменный контейнер; 14 – телескопические гидроцилиндры; 15 – стойки; 16 – прямоугольное основание; 17 – платформа; 18 – платформа

Работа погрузочно-транспортного агрегата представлена в следующем виде (рис. 2). Погрузочно-транспортный агрегат перемещается по промышленному объекту, после чего останавливается перед захватываемым объектом.

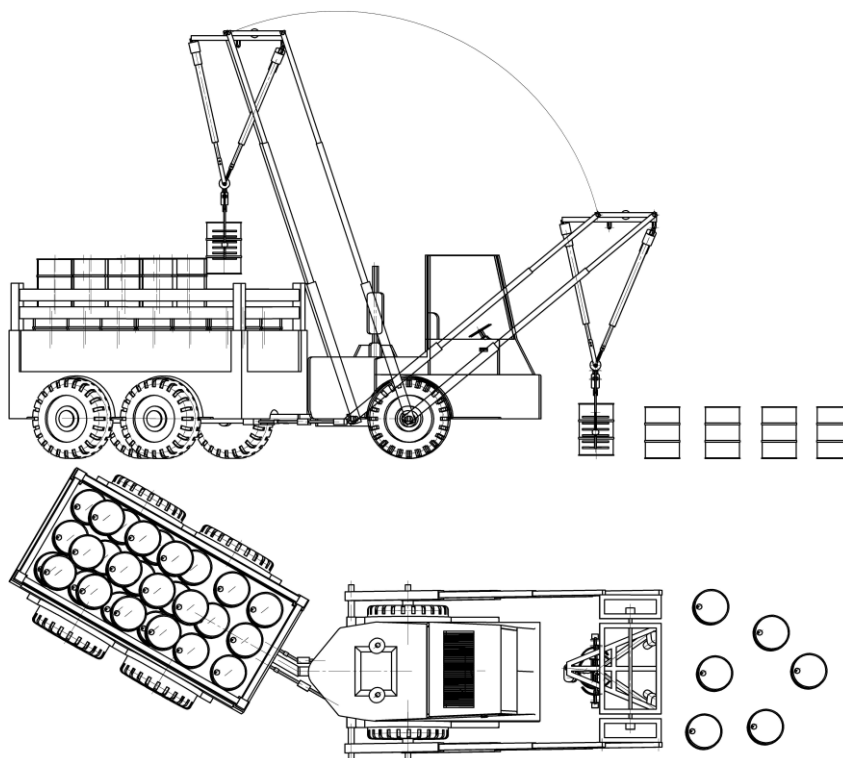


Рис. 2. Схема технологического процесса погрузки бочек в складском помещении

С помощью телескопических гидроцилиндров 14 осуществляется наклон пространственно-параллелограммного механизма, установленного на раме 1 , выдвижение или втягивание телескопических стоек 15 , далее в прямоугольном основании 16 платформа 17 осуществляет поворот манипулятора-трипода за счет двух серводвигателей 18 , после чего исполнительные приводы 10 осуществляют необходимое позиционирование грузозахватного органа до захватываемого объекта. Затем с помощью клещей 4 , тяг 5 , управляемого электропривода 6 и серводвигателей 7 происходит захват груза, его перемещение и штабелирование в сменный контейнер 13 . Далее происходит замена полного контейнера пустым, после чего весь процесс повторяется. Полный контейнер устанавливается на транспортное средство и транспортируется в места хранения.

При проектном исследовании механизма погрузчика главной задачей является структурный и кинематический синтез. На этапе проектирования погрузочно-транспортного агрегата могут возникнуть некоторые сложности, в частности, заклинивание и потеря устойчивости механизма. В таком случае проводится расчет степени подвижности механизма [3, 4].

Степень подвижности механизма погрузчика обосновывается за счет линейных приводов $l_1 = AB$, $l_2 = A_1B_1$ и исполнительных звеньев манипуляционного механизма $l_3 = CD$, $l_4 = BD$, $l_5 = KD$ [5, 6]. Используя формулу Сомова – Малышева – Чебышева, определим степень свободы W механизма погрузочно-транспортного агрегата:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 = 5, \quad (1)$$

где $W(n, p_i)$ – степень свободы механизма; n – подвижные звенья в механизма погрузчика; p_i – кинематические пара i -й подвижности.

С учетом передвижения двухосного шасси при выполнении технологического процесса степень подвижности механизма равна $W = 6$.

С помощью обобщённых координат можно описать перемещение грузозахватного органа выходного звена манипулятора погрузчика l_1 , l_2 , l_3 и угла β .

При кинематическом анализе механизма погрузчика одной из главных задач является построение зоны обслуживания, которая формируется за счет перемещения выходного звена точки M манипулятора погрузочно-транспортного агрегата (рис. 3) [7, 8].

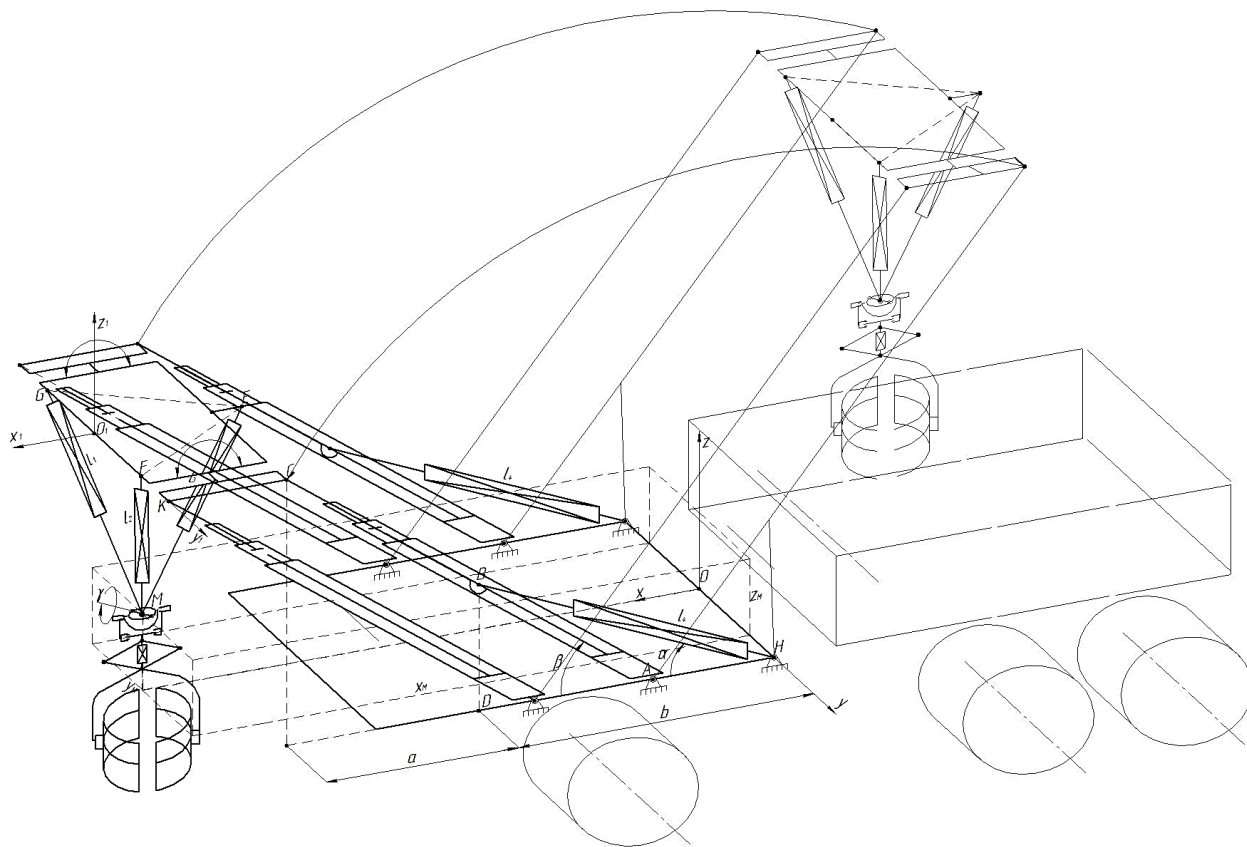


Рис. 3. Кинематическая схема погрузчика-штабелера

Положение рабочего органа определяем произведением матриц перехода $M_{i-1,i}$, описывающих положение i -го звена относительно $(i-1)$.

Форма зоны обслуживания зависит от изменения длин исполнительных приводов манипуляционного механизма $l_1 = FM$, $l_2 = EM$, $l_3 = GM$ и исполнительных звеньев пространственно-параллелограммного механизма. С помощью угла β задается ориентация пространственно-параллелограммного механизма. Движение точки M выходного звена грузозахватного органа манипулятора механизма фронтального погрузчика осуществляется от подвижной декартовой системы координат $O_2X_2Y_2Z_2$ к неподвижной $O_1X_1Y_1Z_1$ и показано в формуле

$$\begin{cases} X_M = X_0 + a_{13}X_{1M} + a_{24}Y_{1M} + a_{35}Z_{1M}, \\ Y_M = Y_0 + a_{13}X_{1M} + a_{24}Y_{1M} + a_{35}Z_{1M}, \\ Z_M = Z_0 + a_{13}X_{1M} + a_{24}Y_{1M} + a_{35}Z_{1M}. \end{cases} \quad (2)$$

Связь между единичными векторами i и $(i-1)$ в декартовых системах координат осуществляется с помощью матриц перехода $M_{i-1,i}$

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

где X_M, Y_M, Z_M – координаты пятиподвижного сферического шарнира манипуляционного механизма (точки M); X_0, Y_0, Z_0 – векторные проекции; a_{sk} – направляющие косинусы; i_{ls}, i_k – единичные векторы в прямоугольной системе координат.

$$a_{sk} = \vec{i}_{ls} \cdot \vec{i}_k \quad s, k = 3, 4, 5.$$

С учетом зависимости (1) $X_0 = 0$; $Y_0 = Y_0$; $Z_0 = 0$,

матрица для направляющих косинусов –
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix}.$$

В таком случае для точки M манипуляционного механизма формула (2) преобразуется в вид (3):

$$\begin{cases} x = \frac{l_3^2 - l_5^2}{4O_2B} + s, \\ y = \frac{A}{2O_2B}, \\ z = \left(-l_4^2 - \frac{(l_5^2 - l_3^2)^2}{16O_2B^2} - \frac{A^4}{40C} \right), \end{cases} \quad (4)$$

$$L^2 = (-l_3^2 + 0.5l_4^2 + 0.5l_5^2 - O_2B^2 - O_2C^2).$$

Из полученных уравнений связи (3) формируется рабочая зона обслуживания для фронтального погрузчика с манипулятором-триподом и пространственно-параллелограммным механизмом [9, 10]. Все расчеты проводились в вычислительной программе *Mathcad*.

Проведенные расчеты показали, что перемещение грузозахватного органа в пределах сформированной рабочей зоны имеет следующие пределы: по оси X – от 875 мм до 4020 мм, по оси Y – от 694 до 694 мм, по оси Z – от 0 до 3000 мм (рис. 4).

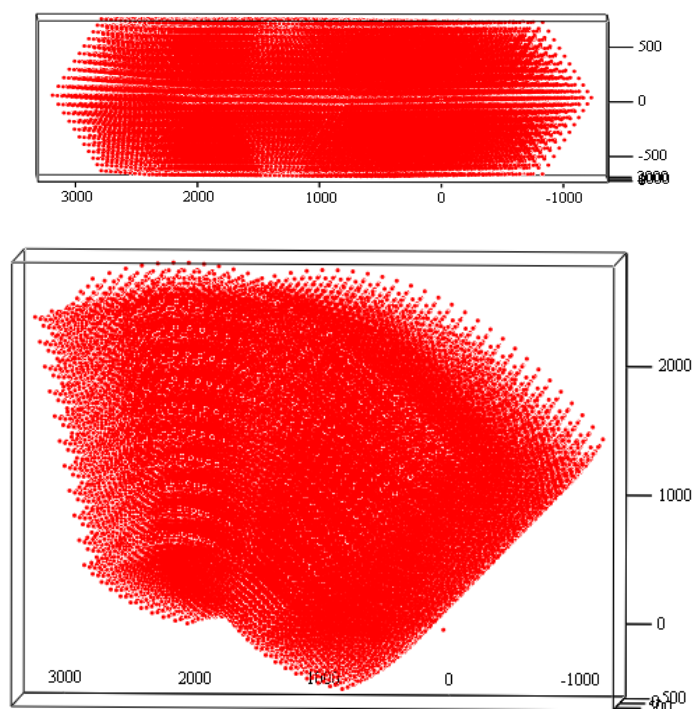


Рис. 4. Зона обслуживания фронтального погрузчика

Выводы

В результате исследований разработана конструкция механизма погрузочно-транспортного агрегата. Рассчитана рабочая зона обслуживания погрузчика, которая, в свою очередь, является увеличенной по сравнению с базовой моделью за счет использования двухосного шасси, пространственно-параллелограммного механизма, телескопических приводов и манипулятора-трипода. Проведен геометрический, структурный и кинематический анализ. Исследования показали, что необходимое время на обход препятствий с учетом использования двухосного шасси составляет на 14 % меньше, а коэффициент производительности погрузчика равен 0,75 по отношению к базовой модели (патент RU 2722747 С1, Бюл. № 16).

Список литературы

- 1 **Жадановский, Б. В.** Организация строительного-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. – ISSN 2227-5398.
- 2 **Илесалиев, Д. И.** К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе / Д. И. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 1. – С. 99–106. – ISSN 2413-9920.
- 3 **Карпенко, М.** Перспектива использования гидравлического энергосберегающего привода / М. Карпенко, Л. Е. Пелевин, М. Богдвичус // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 3(41). – С. 7–12. – ISSN 2074-1146.
- 4 **Ковалёва, Т. Е.** Сравнительный анализ вилок погрузчика компьютерным моделированием / Т. Е. Ковалева // Известия Тульского государственного университета. Технические

References

- 1 **Zhadanovsky, B. V.** Organization of construction and installation and loading and unloading operations in construction by automobile cranes / B. V. Zhadanovsky, S. A. Sinenko, I. M. Miroshnikova // System technologies. – 2018. – No. 2 (27). – P. 41–48. – ISSN 2227-5398.
- 2 **Ilesaliev, D. I.** On the issue of the layout of shelving in a warehouse / D. I. Ilesaliev // Scientific and Technical Bulletin of the Bryansk State University. – 2017. – No. 1. – P. 99–106. – ISSN 2413-9920.
- 3 **Karpenko, M.** The prospect of using a hydraulic energy-saving drive / M. Karpenko, L. E. Pelevin, M. Bogdevicius // Technical and technological problems of service. – 2017. – No. 3(41). – P. 7–12. – ISSN 2074-1146.
- 4 **Kovaleva, T. E.** Comparative analysis of forklift forks by computer modeling / T. E. Kovaleva // Proceedings of Tula State

науки. – 2022. – № 3. – С. 316–318. – ISSN 2071-6168.

5 Семенов, Д. А. Автоматизация рабочего цикла вилочного погрузчика / Д. А. Семенов // Научные известия. – 2022. – № 28. – С. 201–204. – ISSN 2413-6492.

6 Оценка комбинированных машин с грузоподъемными устройствами / Р. Л. Сахапов, М. М. Махмутов, М. М. Земдикханов, М. М. Махмутов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19. – № 1–2. – С. 282–287.

7 Юхимец, Д. А. Метод формирования пространственных траекторий мобильного робота в неизвестной обстановке / Д. А. Юхимец, А. С. Губинков, А. В. Зуев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2018. – № 2 (19). – С. 46–51. – ISSN 1990-5378.

8 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.

9 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. – P. 245. – DOI 10.1007/978-981-16-3349-2_20.

10 The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers International / V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov, V. A. Belikov // Review of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 11. – No. 5. – P. 337–342. – DOI 10.15866/ireme.v11i5.11597.

University. Technical sciences. – 2022. – No. 3. – P. 316–318. – ISSN 2071-6168.

5 Semenov, D. A. Automation of the working cycle of a forklift truck / D. A. Semenov // Scientific News. – 2022. – No. 28. – P. 201–204. – ISSN 2413-6492.

6 Evaluation of combined machines with lifting devices / R. L. Sakhapov, M. M. Makhmutov, M. M. Zemdikhanov, M. M. Makhmutov // Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – Vol. 19. – No. 1–2. – P. 282–287.

7 Yukhimets, D. A. Method of forming spatial trajectories of a mobile robot in an unknown environment / D. A. Yukhimets, A. S. Gubinkov, A. V. Zuev // Robotics and technical cybernetics. – 2018. – No. 2 (19). – P. 46–51. – ISSN 1990-5378.

8 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.

9 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. – P. 245. – DOI 10.1007/978-981-16-3349-2_20.

10 The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers International / V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov, V. A. Belikov // Review of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 11. – No. 5. – P. 337–342. – DOI 10.15866/ireme.v11i5.11597.

M. E. Nikolaev, O. V. Dushko, V. A. Perfilov, N. V. Zakharov

FRONT LOADER WITH TRIPOD MANIPULATOR

Abstract. In the modern world, the front-end loaders for loading cylindrical piece loads are increasingly used in industrial facilities. When stacking barrels or pipes, in some cases it is necessary to perform both additional maneuvering of the chassis and additional positioning by the loader's lifting body. To do this, it is advisable to use a front loader with a tripod manipulator. The process of moving a cargo-handling body from the moment of object capture to the moment of its loading is considered. The design of the loading and transport unit mechanism has been developed. The working area of the loader is calculated, which, in turn, is enlarged compared to the base model due to the use of a two-axle chassis, a space-parallelogram mechanism, telescopic drives and a tripod manipulator. Geometric, structural and kinematic analysis was carried out. Studies have shown that the required time to bypass obstacles, taking into account the use of a two-axle chassis, is 14 % less, and the loader's performance coefficient is 0,75 relative to the base model (patent RU 2722747 C1, Issue No. 16).

Keywords: front loader, work area, tripod manipulator, biaxial chassis, structural synthesis, geometric synthesis, kinematic synthesis, telescopic drives, spatial parallelogram mechanism.

For citation: Front loader with tripod manipulator / M. E. Nikolaev, O. V. Dushko, V. A. Perfilov, N. V. Zakharov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 4. – P. 131–137. – DOI 10.46973/0201–727X_2023_4_131.

Сведения об авторах

Николаев Максим Евгеньевич

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
кандидат технических наук,
старший преподаватель,
e-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

Душко Олег Викторович

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолГТУ),
первый проректор-директор,
e-mail: ovd28@mail.ru

Перфилов Владимир Александрович

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
заведующий кафедрой,
e-mail: vladimirperfilov@mail.ru

Захаров Николай Вячеславович

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
студент,
e-mail: n.zakharov1@mail.ru

Information about the authors

Nikolaev Maxim Evgenievich

Institute of Architecture and Construction of
Volgograd State Technical University (IAiS
Volgstu),
Chair «Oil and Gas Structures»,
Candidate of Engineering Sciences,
Senior Lecturer,
e-mail: Mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

Dushko Oleg Viktorovich

Institute of Architecture and Construction of
Volgograd State Technical University (IAiS
Volgstu),
First Vice-Rector-Director,
e-mail: ovd28@mail.ru

Perfilov Vladimir Alexandrovich

Institute of Architecture and Construction of
Volgograd State Technical University (IAiS
Volgstu),
Chair «Oil and Gas Structures»,
Head of the Chair,
e-mail: vladimirperfilov@mail.ru

Zakharov Nikolay Vyacheslavovich

Institute of Architecture and Construction of
Volgograd State Technical University (IAiS
Volgstu),
Chair «Oil and Gas Structures»,
Student,
e-mail: n.zakharov1@mail.ru