

Механизм погрузки штучных грузов цилиндрической формы

М.Е. Николаев, Е.Ю. Козловцева, В.И. Клименко, Д.А. Ляшенко

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В настоящее время в промышленности большое применение находят себе погрузчики для штучных грузов, применяемых при выполнении технологического процесса погрузки-транспортировки и укладки бочек с нефтью. В частных случаях при погрузочно-транспортных работах, функциональных возможностей погрузчика хватает, но при укладке груза или возникновении препятствий, необходимо маневрировать с помощью шасси погрузчика, что значительно увеличивает время выполнения технологического процесса. Результаты проведенных исследований показали, что при выполнении технологической операции захвата, транспортировки и укладки бочек, время на перемещение шасси составляет до 12%, при этом коэффициент производительности погрузчика составляет 0.65. Проведено численное моделирование процесса позиционирования грузозахватного органа выходного звена погрузочно-транспортного агрегата, на этой основе предложена и разработана конструкция погрузчика на базе штабелера. Посчитана степень подвижности манипуляционного механизма погрузчика по формуле Сомова-Малышева. Проведен кинематический анализ, рассчитана теоретическая рабочая зона обслуживания выходного звена грузозахватного органа погрузчика, сформированная в программном комплексе Mathcad.

Ключевые слова: численное моделирование, погрузчик, манипулятор, шарниры, шасси, структурный анализ, степень подвижности, кинематический анализ, зона обслуживания, грузозахватный орган, механизм.

Результаты и обсуждения

В современное время в промышленности на складских работах большое применение находят себе погрузчики для штучных грузов, применяемых при выполнении технологического процесса погрузки-транспортировки и укладки бочек с нефтью. В частных случаях, при погрузочно-транспортных работах, функциональных возможностей погрузчика хватает, но при укладке бочек или возникновении препятствий, необходимо маневрировать с помощью шасси погрузчика, что, в свою очередь, увеличивает время выполнения технологического процесса. Предлагается провести численное моделирование процесса погрузки позиционирования грузозахватного органа с целью усовершенствования механизма подъема погрузчика-штабелера для расширения функциональных возможностей и уменьшения маневренности погрузочно-транспортного

агрегата при работе с промышленными грузами в складских помещениях [1, 2].

Погрузочно-транспортный агрегат с увеличенной рабочей зоной (рис. 2), содержит раму 1 с закреплёнными на ней грузоподъемником 2, противовесом 3, блоком аккумуляторных батарей 4. Шасси погрузчика 5, выполненное с колесной формулой 6х6, а также содержит поворотную платформу 6. Манипулятор последовательной структуры, состоит из исполнительных звеньев 7, пяти электроприводов 8, соединенных между собой посредством вращательных цилиндрических шарниров 9 с кинематической парой пятого класса.

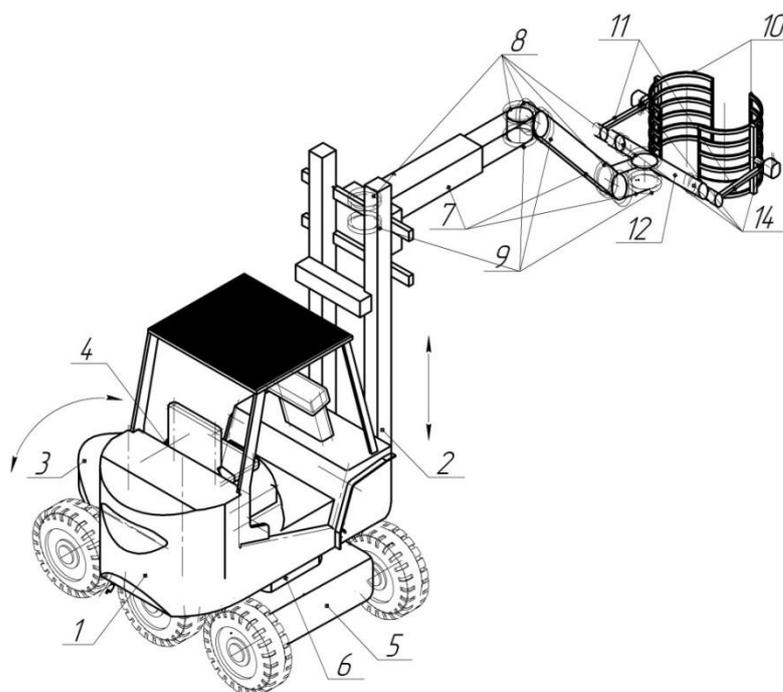


Рис. 1. - Общий вид погрузчика-штабелера

Захват погрузчика выполнен в виде двух клещей 10, тяг 11, управляемого электропривода 12 и двух сервоприводов 13, имеющих крепления между собой посредством вращательных цилиндрических шарниров 14 с кинематической парой пятого класса. Технологический

процесс погрузочно-транспортной работы в складском помещении осуществляется следующим образом (рис. 2). [3, 4].

Погрузчик-штабелер с увеличенной рабочей зоной с помощью шасси 5 с колесной формулой 6х6 перемещается по складскому помещению до захватываемого объекта, после чего останавливается и по необходимости осуществляет поворот рамы 1 на необходимый угол.

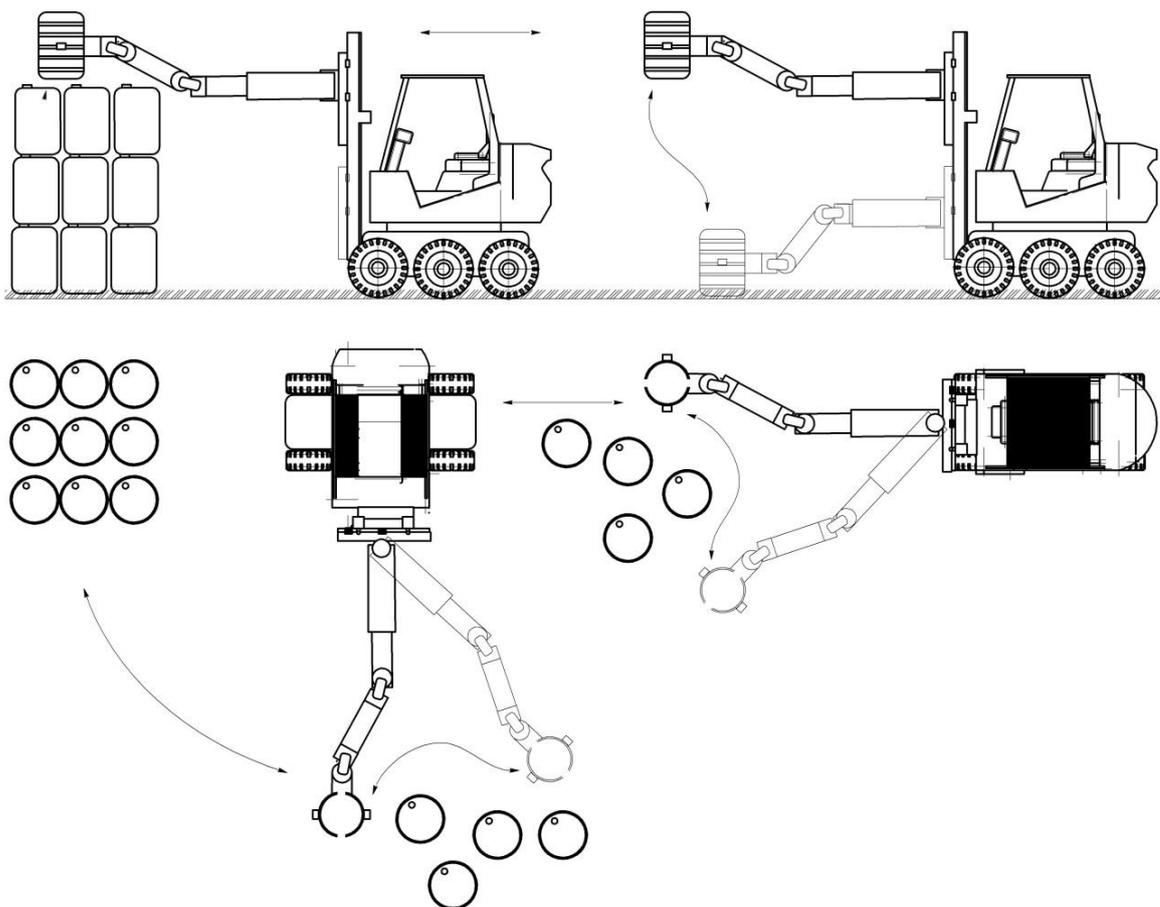


Рис. 2. - Схема технологического процесса захвата, транспортировки и погрузки транспортировки груза.

Далее с помощью грузоподъемника 2 осуществляет вертикальное перемещение исполнительных звеньев 7, затем, с помощью электроприводов 8, происходит подвод грузозахватного органа к грузу, далее с помощью электропривода 12 и тяг 11 осуществляется сжатие клещей 10.

Серводвигатели выполняют вращательную функцию клещей 10 для обеспечения наилучшей маневренности грузозахватного органа.

Одними из главных задач при проектировании механизма погрузочно-транспортного агрегата является расчет структурных и кинематических параметров манипулятора погрузчика. На начальных этапах исследования может возникнуть вопрос о заклинивании и потере устойчивости механизма при выполнении технологических операций погрузки, разгрузки и транспортировки грузов. Для этого необходимо рассчитать степень подвижности манипуляционного механизма погрузчика [5, 6].

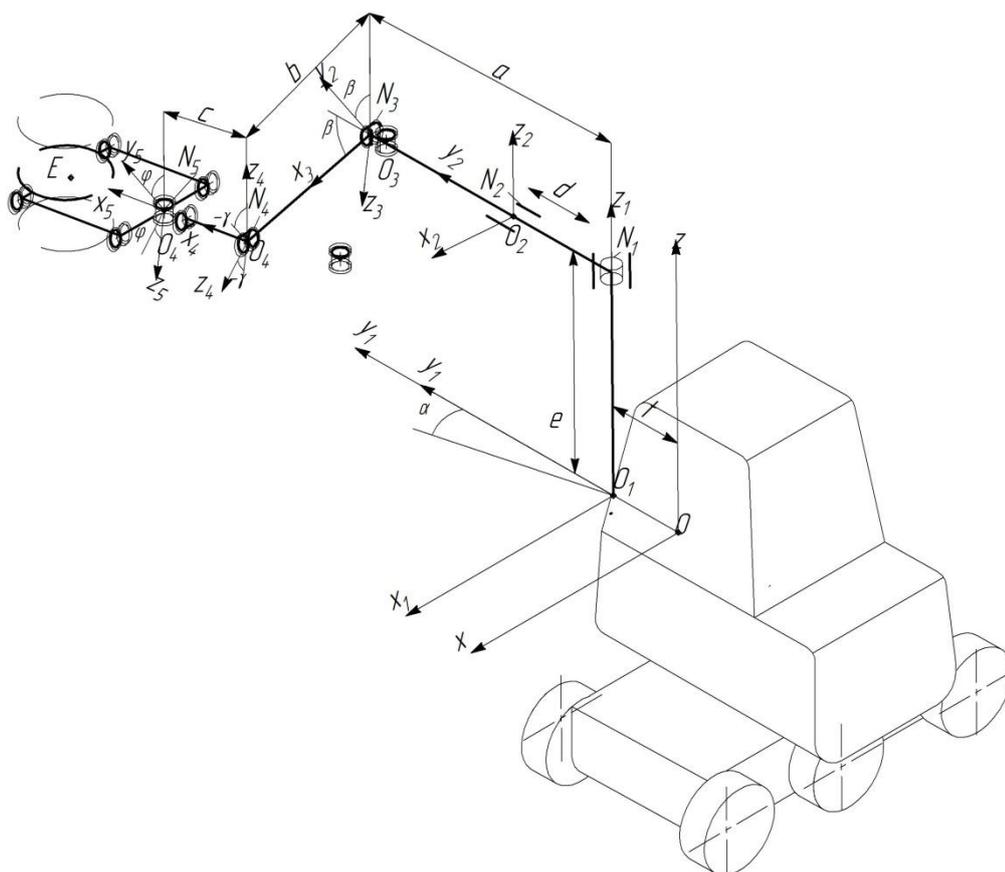


Рис. 3. - Кинематическая схема манипуляционного устройства погрузчика-штабелера

Обосновать степень подвижности механизма можно за счет исполнительных звеньев манипулятора погрузчика. В данном случае, это

направляющие актуаторы $l_1=AB$ и $l_2=A_1B_1$, и исполнительные приводы манипулятора-трипода $l_3=CD$, $l_4=BD$, $l_5=KD$

Для определения степени подвижности W манипуляционного механизма погрузчика-штабелера, используем форму Сомова-Малышева-Чебышева:

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

где $W(n, p_i)$ – степень подвижности механизма погрузочно-транспортного агрегата; n –подвижные звенья манипуляционного механизма; p_i –кинематические пары i -й подвижности.

Учитывая глобальное передвижение шасси при выполнении технологической операции погрузки-разгрузки грузов в складском помещении, степень подвижности: $W=6$.

Задача позиционирования манипуляционного механизма заключается в определении обобщённых координат $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$ при движении выходного звена грузозахватного органа, определяемого перемещением относительно центра неподвижной декартовой системы координат $Oxyz$ и направляющих косинусов a_{pq} от подвижной $O_5x_5y_5z_5$ системы координат. Для решения этой задачи необходимо определить декартовые координаты $x_E(t), y_E(t), z_E(t)$ точки подвеса в абсолютной системе отсчета $Oxyz$ [7, 8].

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

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

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

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 $x_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ – единичный вектор в i подвижной декартовой системе координат; $x_{i-1,i} = [x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}]^T$ – вектор начала i ($i-1$) в декартовой системе координат, полученный с помощью направляющих косинусов.

В общем виде матричное преобразование можно представить, как:

$$x_{i-1} = M_{i-1,i} x_i \quad (5)$$

Поворот декартовой системы координат $O_1x_1y_1z_1$ вокруг оси O_1z_1 на угол α , обеспечивает параллельность осей Oz и O_1z_1 и представлен в виде матрицы:

$$M_{01} = \left[\begin{array}{ccc|c} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & f \\ 0 & 0 & 1 & \square z_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (6)$$

Матрица перемещение системы координат $O_2x_2y_2z_2$ относительно системы $O_1x_1y_1z_1$ на перемещение $\square y_2$.

$$M_{12} = \left[\begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \square y+d \\ 0 & 0 & 1 & e \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (7)$$

Поворот системы осей $O_3x_3y_3z_3$ вокруг оси O_3z_3 на угол β , характеризуется матрицей:

$$M_{23} = \left[\begin{array}{ccc|c} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \cos\beta & -\sin\beta & 0 & a-(Vy_2+d) \\ \sin\beta & \cos\beta & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (8)$$

Матрица поворота системы осей $O_4x_4y_4z_4$ вокруг оси O_4z_4 на угол γ , имеет вид:

$$M_{34} = \left[\begin{array}{ccc|c} -\cos\gamma & \sin\gamma & 0 & b \\ \sin\gamma & -\cos\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \quad (9)$$

Матрица поворота системы осей $O_5x_5y_5z_5$ вокруг оси O_5z_5 на угол φ , имеет вид:

$$M_{45} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & c \\ \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

В результате расчетов, при последовательном переходе декартовых систем координат M_{01} , M_{21} , M_{23} , M_{34} , M_{45} к нулевой $Oxyz$, получаем:

$$M_{05} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \sin\alpha(d-a+Vy_2)+c(\sin\beta\sin\alpha^2+\cos\gamma\cos\beta\sin\alpha)-b\cos\beta\sin\alpha \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & f-\cos\alpha(d-a+Vy_2)+\cos\alpha(d+Vy_2)-c(\cos\alpha\sin\beta\sin\alpha+\cos\gamma\cos\beta\cos\alpha)+b\cos\beta\cos\alpha \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & Vz_1+e-c(\cos\gamma\sin\beta-\cos\beta\sin\alpha)+b\sin\beta \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

где a_{sk} – направляющие косинусы.

Из матрицы видно, что точка E – координата точки грузозахватного органа – не зависит от изменения значения угла φ .

Поэтому для определения конфигурации зоны обслуживания манипуляционного устройства погрузчика, нужна система из трех уравнений.

$$\begin{cases} x_E = \sin\alpha(d-a+\square y_2)+c(\sin\beta\sin\alpha^2+\cos\gamma\cos\beta\sin\alpha)-b\cos\beta\sin\alpha \\ y_E = f-\cos\alpha(d-a+\square y_2)+\cos\alpha(d+\square y_2)-c(\cos\alpha\sin\beta\sin\alpha+\cos\gamma\cos\beta\cos\alpha)+b\cos\beta\cos\alpha \\ z_E = \square z_1+e-c(\cos\gamma\sin\beta-\cos\beta\sin\alpha)+b\sin\beta \end{cases} \quad (12)$$

С помощью уравнений связей (12) сформирована зона обслуживания погрузочно-транспортного агрегата [9, 10]. Расчет произведен в программном комплексе Mathcad.

В результате проведенных расчетов рабочая зона обслуживания выходного звена грузозахватного органа погрузчика-штабелера осуществляется в следующих пределах относительно неподвижной декартовой системы координат x от $\min(x) = -2000$ мм до $\max(x) = 2002$ мм;

по оси z от $\min(z) = -748.528$ мм до $\max(z) = 1320$ мм; по оси y $\min(y) = -748$ мм до $\max = 1320$ мм

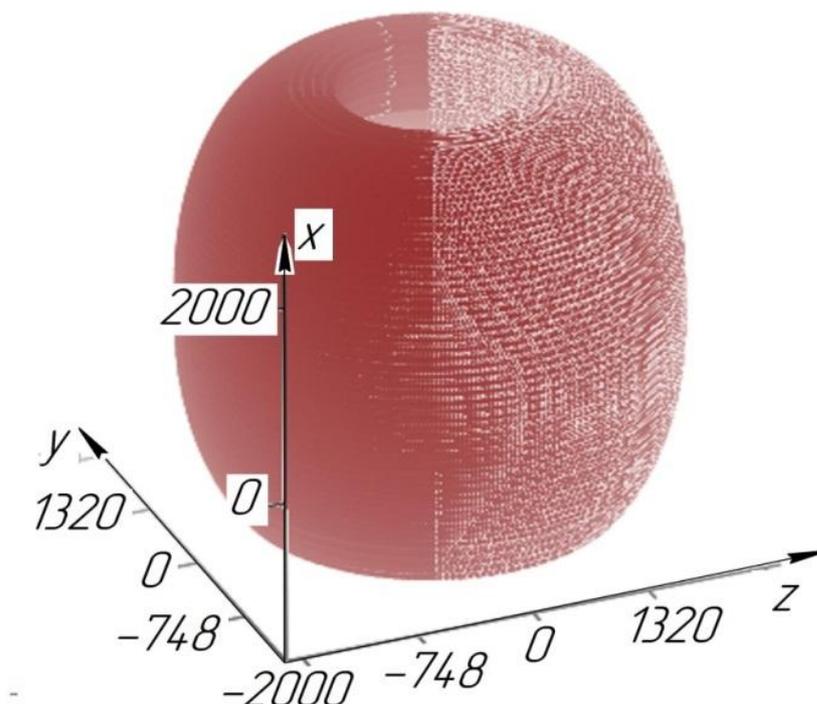


Рис. 4. - Конфигурация зоны обслуживания выходного звена грузозахватного органа манипуляционного устройства погрузчика с программного комплекса Mathcad.

Проведено численное моделирование процесса позиционирования грузозахватного органа погрузчика, на этой основе предложена и разработана конструкция погрузочно-транспортного агрегата, что позволяет уменьшить возможные перемещения шасси погрузчика, при возникновении препятствий на пути выполнения технологической операции погрузки, транспортировки и укладки бочек с нефтью. Посчитаны геометрические, структурные и кинематические параметры механизма погрузчика. Сформирована зона обслуживания выходного звена манипулятора погрузчика.

Литература

1. Жадановский Б.В., Синенко С.А., Мирошникова И.М. Организация строительного-монтажных и погрузочно-разгрузочных работ в строительстве автомобильными кранами // Системные технологии. 2018. № 2 (27). С. 41-48.
 2. Илесалиев Д.И. К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. № 1. С. 99-106.
 3. Карпенко М., Пелевин Л.Е., Богдвичус М. Перспектива использования гидравлического энергосберегающего привода // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 3 (41). С. 7-12.
 4. Ковалёва Т.Е. Сравнительный анализ вил погрузчика компьютерным моделированием // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 3. С. 316-318.
 5. Семенов Д.А. Автоматизация рабочего цикла вилочного погрузчика // Научные известия. 2022. № 28. С. 201-204.
 6. Сахапов Р.Л., Махмутов М.М., Земдиханов М.М., Махмутов М.М. Оценка комбинированных машин с грузоподъемными устройствами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 1-2. С. 282-287.
 7. Юхимец Д. А., Губинков А.С., Зуев А.В. Метод формирования пространственных траекторий мобильного робота в неизвестной обстановке // робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 2 (19). С.-46-51.
 8. 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
 9. 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

10. 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.

References

1. Zhadanovskij B.V., Sinenko S.A., Miroshnikova I.M. Organizaciya stroitelno-montazhnyx i pogruzochno-razgruzochnyx rabot v stroitelstve avtomobilnymi kranami. 2018. № 2 (27). pp. 41-48.
2. Ilesaliev D.I. K voprosu o sxeme razmeshheniya stellazhej na sklade. 2017. № 1. pp. 99-106.
3. Karpenko M., Pelevin L.E., Bogdyavichus M. Perspektiva ispolzovaniya gidravlichesкого energosberegayushhego privoda 2017. № 3(41). pp. 7-12.
4. Kovalyova T.E. Sravnitelnyj analiz vil pogruzchika kompyuternym modelirovaniem. 2022. № 3. pp. 316-318.
5. Semenov D.A. Avtomatizaciya rabocheho cikla vilochnogo pogruzchika 2022. № 28. pp. 201-204.
6. Saxapov R.L., Maxmutov M.M., Zemdixanov M.M., Maxmutov M.M. Ocenka kombinirovannyx mashin s gruzopodemnymi ustrojstvami. 2017. T. 19. № 1-2. pp. 282-287.
7. Yuximecz D. A., Gubinkov A.S., Zuev A.V. Metod formirovaniya prostranstvennyx traektorij mobilnogo robota v neizvestnoj obstanovke. 2018. № 2 (19). pp. 46-51.
8. Nikolaev M.E., Nesmianov I.A., Zaharov E.N. Definition of service area of agricultural loading robot with manipulator of parallel-serial structure. 2020. 747(1). doi: 10.10881757899X7471012125.



9. Nikolaev, M., Nesmianov, I., Zhoga, V., Ivanov, A. Justification Parameters and Planning Capture Trajectories for Robotic Loading and Transport 2022. 245. doi: 10.1007 978 981 16 3349 2 20.

10. 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.