

УДК 621.865.8

DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_87

M. E. Николаев, В. А. Перфилов, С. С. Коврыжко, Я. Р. Якуткин, А. С. Дудников

ПОЛУАВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЙ АГРЕГАТ

Аннотация. В целях оптимизации технологических операций строительства нефтегазопроводов (погрузки, транспортировки и монтажа) предложена комплексная система с внедрением элементов частичной автоматизации, реализованная в виде полуавтоматизированного погрузочно-транспортного агрегата. Конструктивная схема агрегата базируется на двух манипуляторах последовательной структуры, концы которых оснащены грузозахватными устройствами клещевого типа. Отличительной особенностью конструкции погрузочно-транспортного агрегата является наличие у одного из грузозахватных механизмов кольцевого сварочного аппарата. Частичная автоматизация процесса заключается в том, что сварка монтируемых элементов, возврат манипуляторов в исходное положение по заданным координатам и захват трубопровода из кузова реализуются в автоматическом режиме, что увеличивает производительность предлагаемой конструкции агрегата.

Рассмотрен технологический процесс перемещения укладки и монтажа труб с использованием разработанного авторами механизма. Рассчитана теоретическая зона обслуживания с численным решением в программном комплексе MathCAD. Проведен кинематический анализ механизма с определением скоростей и ускорений исполнительных звеньев. В результате установлен коэффициент производительности предлагаемого полуавтоматизированного погрузочно-транспортного агрегата $K = 2,4$ в сравнении с базовым аналогом трубоукладчика – ЧТЗ/ТР12/ТР20.

Ключевые слова: полуавтоматизированный погрузочно-транспортный агрегат, манипулятор, грузозахватный орган, кинематика, зона обслуживания, степень подвижности.

Для цитирования: Полуавтоматизированный погрузочно-транспортный агрегат / М. Е. Николаев, В. А. Перфилов, С. С. Коврыжко [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 2. – С. 87–95. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_87.

Введение

В нефтегазовой отрасли при строительстве трубопроводов ключевыми этапами являются транспортировка, сварка и укладка труб в проектное положение. Для выполнения данных операций требуется следующий перечень оборудования: подъемный кран, трубоукладчики, трубовозы (плетевозы) и сварочные аппараты. При работах в сложных климатических условиях и при отсутствии или частичном отсутствии дорог используется вездеходный трубовоз. Таким образом, в процессе строительства трубопроводов оказывается задействовано большое количество человек. Для минимизации человеческого труда предлагается использовать полуавтоматизированный погрузочно-транспортный агрегат, объединяющий в себе перечисленные операции технологического процесса трубоукладки [4].

Цель исследования заключается в структурном и кинематическом анализе механизма погрузчика для определения скорости и ускорения его выходного звена, а также в определении теоретической зоны обслуживания манипуляционного устройства полуавтоматизированного погрузочно-транспортного агрегата [5, 6].

Основная часть

Полуавтоматизированный погрузочно-транспортный агрегат (рис. 1) установлен на раме 1. Отличие новой конструкции от существующих состоит в том, что погрузчик имеет два манипулятора последовательной структуры состоящих из исполнительных звеньев 2, гидроцилиндров 3, поворотных платформ 4. Следует отметить, что грузозахватные органы манипуляторов выполнены клещевыми, состоят из тяг 5, клещей 6, гидроцилиндра 7, шарнирного крепления 8, причем один из захватов содержит кольцевой сварочный аппарат 9 и рукав для подачи сварочного материала 10.

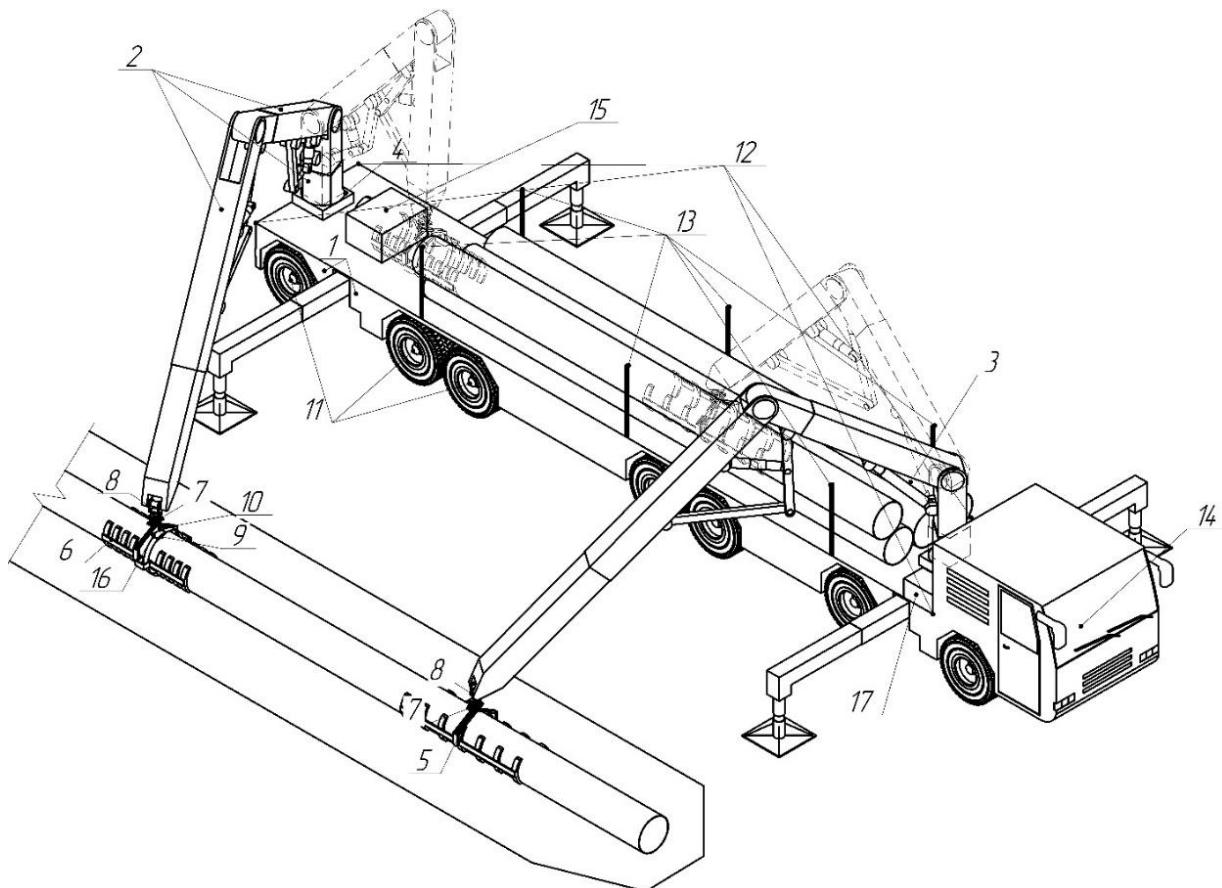


Рис. 1. Общий вид погрузочно-транспортного агрегата:

1 – рама; 2 – исполнительные звенья; 3, 7 – гидроцилиндры; 4 – поворотная платформа; 5 – тяга; 6 – клещи; 8 – шарнирное крепление; 9 – кольцевой сварочный аппарат; 10 – рукав подачи сварочного материала; 11 – шасси; 12 – кузов; 13 – стойки; 14 – блок управления; 15 – датчик контроля положения трубы; 16 – датчик контроля сварочного шва; 17 – гидрораспределитель

Шасси 11 погрузчика имеет колесную формулу 14×14 , кузов погрузочно-транспортного агрегата состоит из прямоугольного основания 12 и вертикальных стоек 13. Также погрузчик содержит блок управления 14, датчик контроля положения трубы 15, датчик контроля сварочного шва 16 и гидрораспределитель 17 с электромагнитными клапанами управления.

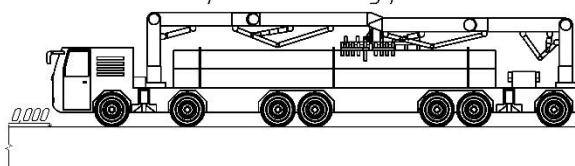
Работа полуавтоматизированного погрузочно-транспортного агрегата осуществляется в несколько этапов (рис. 2).

Этап I. Прибытие погрузочно-транспортного агрегата на рабочую площадку: управляемый оператором полуавтоматизированный комплекс прибывает на место монтажа трубопровода.

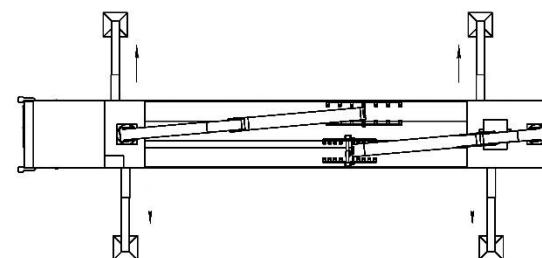
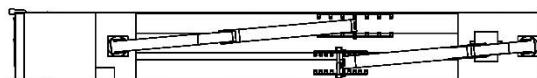
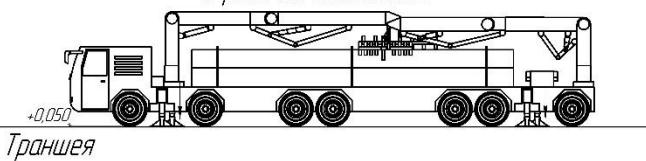
Этап II. Приведение погрузочно-транспортного агрегата в рабочее положение: оператор с помощью пульта управления устанавливает погрузчик выдвижением опор в рабочее положение [8].

Этап III. Укладка и монтаж трубопровода: оператор с помощью пульта управления приводит в движение манипуляторы последовательной структуры, находящиеся на прямоугольном основании 12, производя необходимое позиционирование грузозахватного органа к захватываемому объекту с помощью поворотной платформы 4, исполнительных звеньев 2 и гидроцилиндров 3. Далее тягами 5 и гидроцилиндрами 7 производится замыкание клещей 6, причем манипулятор, на котором установлен кольцевой сварочный аппарат 9, захватывает трубу в месте монтирования, а другой манипулятор захватывает трубу на расстоянии 8 м от центра первого грузозахватного органа, чтобы изгибающая нагрузка у трубы была минимальная. Захватываемая труба перемещается в место укладки. При этом соблюдаются строгая соосность и горизонтальность труб на свариваемом участке. Все действия на данном этапе технологического процесса осуществляются оператором. После в автоматическом режиме происходит сварка монтируемых трубопроводов и контроль сварочного шва датчиком контроля 16 [3, 7].

I Этап. Прибытие погрузочно-транспортного агрегата к месту работ

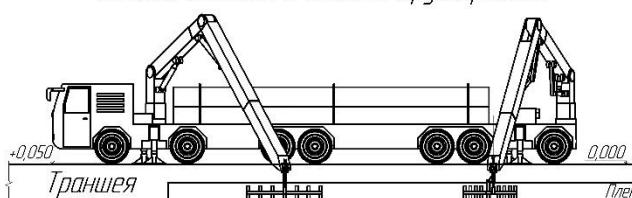


II Этап. Приведение погрузочно-транспортного агрегата в рабочее положение

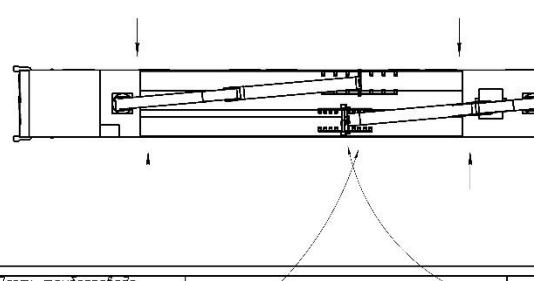
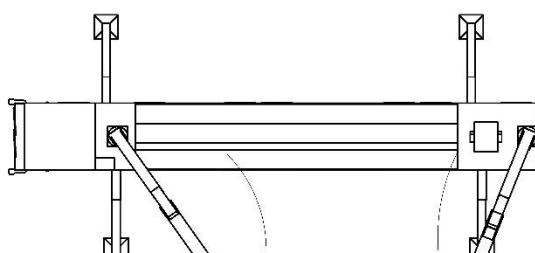
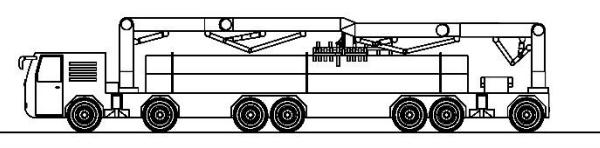


Траншея

III Этап. Укладка и монтаж трубопровода



IV Этап. Возвращение в транспортное положение



Траншея Путь трубопровода

Рис. 2. Схема технологического процесса укладки и монтажа трубопровода

Этап IV. Возвращение в транспортное положение: по окончании процесса сварки подается сигнал в блок управления 14. В результате после обработки полученной информации с помощью гидрораспределителя 17 с клапанами электромагнитного управления производится автоматическое отпускание клаццевыми грузозахватными органами захватываемой трубы, а затем возврат манипуляторов в исходное положение [9]. Далее машинист с помощью пульта управления поднимает пяты опор и передвигается вдоль траншеи к месту монтажа следующей трубы. Далее цикл повторяется с этапа II до момента окончания труб в кузове.

Таким образом, полуавтоматизированный погрузчик, имея два дополнительных манипулятора и клаццевые грузозахватные органы, повышает эффективность выполнения технологических операций погрузки, разгрузки и транспортировки элементов трубопровода.

Основные задачи проектирования механизма погрузочно-транспортного агрегата включают определение структурных и кинематических параметров манипулятора погрузчика, а также расчет скоростей и ускорений выходного звена. Расчет скоростей и ускорений играет ключевую роль в различных областях науки и техники. Он необходим для анализа и оптимизации механических систем, обеспечения их надежности и безопасности, а также для разработки эффективных методов управления и прогнозирования их поведения [10].

Манипулятор погрузчика – пространственный механизм, состоящий из звеньев, образующих «механическую руку» с захватом в точке M (рис. 3) [2].

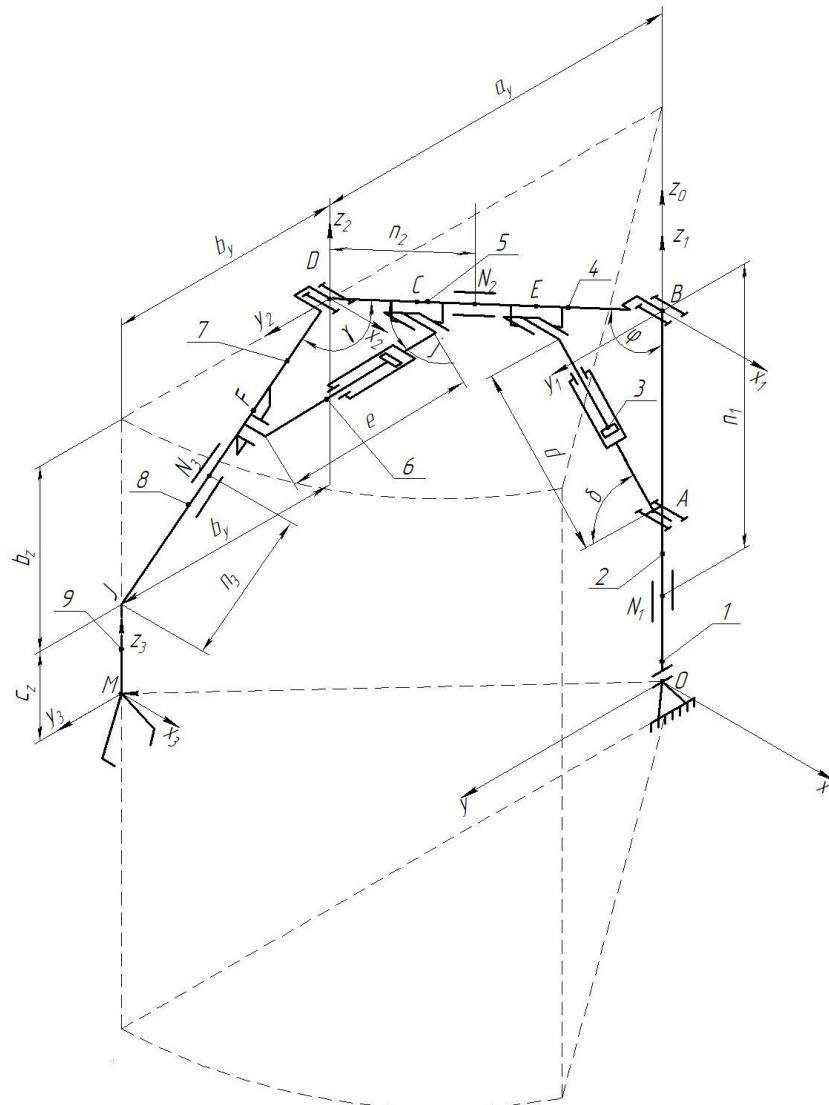


Рис. 3. Кинематическая схема манипулятора

Даны следующие уравнения движения для захвата:

$$y_M(t) = 8,249 - 0,2t, \quad (1)$$

$$z_M(t) = 5,947 - 0,2t. \quad (2)$$

Требуется определить углы γ и φ , что осуществляется в интервале времени $0 \leq t \leq \tau$. Для этого, применив аналитический метод, предварительно рассчитаем значения угловых скоростей и ускорений звеньев [1]. Дано: $BD = a$, $DJ = b$, $JM = c$.

По оси X движение отсутствует, но вдоль нее происходит поворот всего механизма. В начале механизм имеет координаты $X_0Y_0Z_0$, в конце $X_MY_MZ_M$.

Для положения манипулятора составляются векторные равенства, которые представляют собой уравнения связей. Эти равенства описывают взаимосвязь между положениями звеньев манипулятора и обеспечивают выполнение условий равновесия системы [2]:

$$\overline{OM} = \overline{OB} + \overline{BD} + \overline{DM}, \quad (3)$$

$$\overline{AE} = \overline{AB} + \overline{BE}, \quad (4)$$

$$\overline{CF} = \overline{CD} + \overline{DF}. \quad (5)$$

Осуществив проекции (3)–(5) на оси координат, составляем уравнение для определения закона

движения звеньев:

$$y_M(t) = a_y \cdot \sin(\pi - \varphi) + b_y \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right), \quad (6)$$

$$z_M(t) = b_y \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) + c_z. \quad (7)$$

После дифференцирования уравнений (6)–(7) по времени получаем уравнения для угловых скоростей:

$$\dot{y}_M(t) = a_y \cdot \cos(\pi - \varphi) - b_y \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right), \quad (8)$$

$$\dot{z}_M(t) = b_y \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right). \quad (9)$$

После повторного дифференцирования (8)–(9) по времени уравнения определения угловых ускорений выглядят следующим образом:

$$\ddot{y}_M(t) = -a_y \cdot \sin(\pi - \varphi) - b_y \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right), \quad (10)$$

$$\ddot{z}_M(t) = -b_y \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right). \quad (11)$$

Для решения задачи на скорость и ускорение воспользуемся программным комплексом MathCAD. Исходные данные:

$$a := 3.3 \quad b := 3.1 \quad c := 0.44 \quad \varphi := 120 \text{deg} \quad \gamma := 102 \text{deg}.$$

Уравнения движения захвата:

$$yM(t) := a \cdot \sin(\pi - \varphi) + b \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) - 0,2 \cdot t,$$

$$zM(t) := b \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) + c - 0,2 \cdot t,$$

$$yMt(t) := a \cdot \cos(\pi - \varphi) - b \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) - 0,2,$$

$$zMt(t) := b \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) - 0,2,$$

$$yMtt(t) := -a \cdot \sin(\pi - \varphi) - b \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right),$$

$$zMtt(t) := -b \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right),$$

$$t := 0, 0, 2 \dots 1.$$

$t =$	$yM(t) =$	$zM(t) =$	$yMt(t) =$	$zMt(t) =$	$yMtt(t) =$	$zMtt(t) =$
0	4,932	2,744	-0,854	1,874	-4,932	-2,304
0,2	4,892	2,704	-0,854	1,874	-4,932	-2,304
0,4	4,852	2,664	-0,854	1,874	-4,932	-2,304
0,6	4,812	2,624	-0,854	1,874	-4,932	-2,304
0,8	4,772	2,584	-0,854	1,874	-4,932	-2,304
1	4,732	2,544	-0,854	1,874	-4,932	-2,304

На начальном этапе исследования допускается вероятность заклинивания и потери устойчивости

механизма при выполнении операций погрузки, разгрузки и транспортировки грузов. Чтобы это предотвратить, нужно определить степень подвижности манипуляционного механизма погрузчика.

В данном случае структурная схема механизма состоит из восьми подвижных звеньев. Согласно условию нормальности количество звеньев должно соответствовать степени подвижности $W = N$. Для определения степени подвижности манипуляционного механизма погрузчика следует применить формулу Сомова – Малышева [2]:

$$W = 6n - 5p_5 - 3p_3 = 4, \quad (12)$$

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

Чтобы определить конфигурацию зоны обслуживания манипуляционного механизма полуавтоматического погрузочно-транспортного комплекса, требуется составить систему из трех уравнений:

$$\begin{cases} x_M \leftarrow \left(a \cdot \sin(\pi - \varphi) + b \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) \right) \cdot \sin(n), \\ y_M \leftarrow \left(a \cdot \sin(\pi - \varphi) + b \cdot \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) \right) \cdot \cos^2(n), \\ z_M \leftarrow \left(b \cdot \sin\left(\frac{3\pi}{2} - \gamma - \varphi\right) + c \right) \cdot \cos(n) \cdot \sin(n), \end{cases} \quad (13)$$

где n – поворот по оси X , $n = 2\pi$.

Применение уравнений связи позволяет сформировать зону обслуживания рассчитываемого погрузочно-транспортного агрегата (рис. 4) [2]. Все вычисления для облегчения и повышения точности производятся в программном комплексе MathCAD.

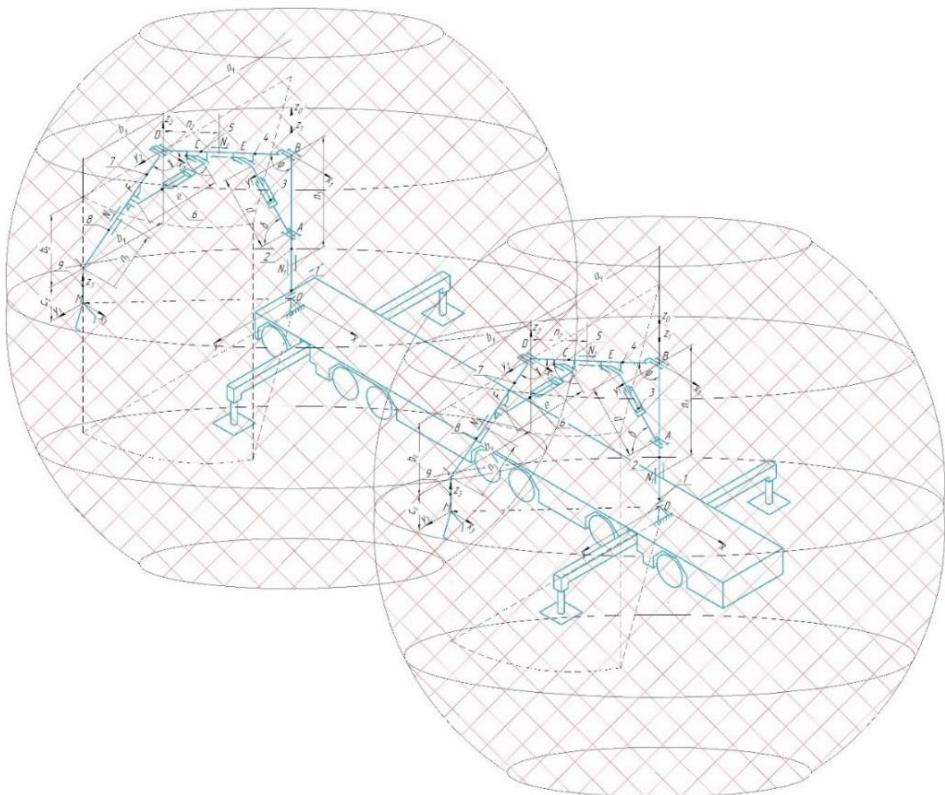


Рис. 4. Снимок экрана с программного комплекса MathCAD рабочей зоны обслуживания выходного звена грузозахватного органа погрузочно-транспортного агрегата

Таким образом, из формы рабочей зоны манипулятора на рис. 4 видно, что точка M перемещается по оси X от $\min(X) = -6,4$ м до $\max(X) = 6,4$ м, по оси Y от $\min(Y) = -6,4$ м до $\max(Y) = 6,4$ м, по оси Z от $\min(Z) = -1,743$ м до $\max(Z) = 1,743$ м.

Выходы

В ходе исследований была создана конструкция погрузочно-транспортного механизма, разработан технологический процесс перемещения укладки и монтажа труб, рассчитана теоретическая зона обслуживания с численным решением в программном комплексе MathCAD. В результате кинематического анализа механизма с определением скоростей и ускорений исполнительных звеньев установлено, что коэффициент производительности предложенного полуавтоматизированного погрузочно-транспортного агрегата составляет $K = 2,4$ в сравнении с базовым аналогом трубоукладчика – ЧТЗ/TP12/TP20.

Список литературы

- 1 **Белов, М. И.** Теория механизмов и машин : учебное пособие / М. И. Белов, С. В. Сорокин. – 2-е изд. – Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2020. – 322 с. – ISBN 978-5-369-01742-5 (РИОР). – ISBN 978-5-16-013598-5 (ИНФРА-М).
- 2 Кинематический и динамический анализ плоских рычажных механизмов : учебное пособие / А. А. Тувин [и др.]. – Иваново : ИвГПУ, 2017. – 112 с. – ISBN 978-5-88954-456-2.
- 3 **Барахов, В. М.** Управление многозвездным манипулятором с распределенными параметрами / В. М. Барахов, Ю. Н. Санкин // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 8. – С. 57–67. – ISSN 0005-2310.
- 4 **Николаев, М. Е.** Обоснование параметров клещевого захвата погрузочно-транспортного агрегата / М. Е. Николаев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 1 (61). – С. 431–441. – DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-41.
- 5 **Николаев, М. Е.** Погрузочно-транспортный агрегат с увеличенной рабочей зоной / М. Е. Николаев, Е. Ю. Козловцева, А. В. Калачев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1 (89). – С. 16–21. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_16.
- 6 **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. – ISSN 2227-5398.
- 7 Распределенная система управления погрузочным манипулятором параллельно-последовательной структуры / И. А. Несмиянов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 1 (45). – С. 260–266. – ISSN 2071-9485.
- 8 **Glazunov, V. A.** The control complex robotic system on parallel mechanism / V. A. Glazunov, S. V. Kheylo, A. V. Tsarkov // Studies in Systems, Decision and Control. – 2019. – Vol. 174. – P. 137–

References

- 1 **Belov, M. I.** Theory of mechanisms and machines : a textbook / M. I. Belov, S. V. Sorokin. – 2nd ed. – Moscow : RIOR : INFRA-M, 2020. – 322 p. – ISBN 978-5-369-01742-5 (RIOR). – ISBN 978-5-16-013598-5 (INFRA-M).
- 2 Kinematic and dynamic analysis of flat lever mechanisms : a textbook / A. A. Tuvin [at al.]. – Ivanovo : IvSPU, 2017. – 112 p. – ISBN 978-5-88954-456-2.
- 3 **Barakhov, V. M.** Control of a multi-link manipulator with distributed parameters / V. M. Barakhov, Yu. N. Sankin // Automation and telemechanics. – 2007. – No. 8. – P. 57–67. – ISSN 0005-2310.
- 4 **Nikolaev, M. E.** Substantiation of the parameters of the pincer grip of the loading and transport unit / M. E. Nikolaev // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex : Science and Higher Education. – 2021. – No. 1 (61). – P. 431–441. – DOI 10.32786/2071-9485-2021-01-41.
- 5 **Nikolaev, M. E.** Loading and transport unit with an enlarged working area / M. E. Nikolaev, E. Y. Kozlovseva, A. V. Kalachev // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2023. – No. 1 (89). – P. 16–21. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_16.
- 6 **Zhadanovsky, B. V.** Organization of construction and assembly 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.
- 7 Distributed control system for a parallel-sequential structure loading manipulator / I. A. Nesmianov [et al.] // Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. – 2017. – No. 1 (45). – P. 260–266. – ISSN 2071-9485.
- 8 **Glazunov, V. A.** The control complex robotic system on parallel mechanism / V. A. Glazunov, S. V. Kheylo, A. V. Tsarkov // Studies in Systems, Decision and Control. – 2019. – Vol. 174.

146. – DOI 10.1007/978-3-319-99759-9_11.

9 Theodoridis, D. C. A new adaptive neuro-fuzzy controller for trajectory tracking of robot manipulators / D. C. Theodoridis, Y. S. Boutilis, M. A. Christodoulou // International Journal of Robotics and Automation. – 2011. – Vol. 26, No. 1. – P. 64–75. – DOI 10.2316/Journal.206.2011.1.206-3401.

10 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. – Vol. 245. – P. 235–246. – DOI 10.1007 978 981 16 3349 2_20.

– P. 137–146. – DOI 10.1007/978-3-319-99759-9_11.

9 Theodoridis, D. C. A new adaptive neuro-fuzzy controller for trajectory tracking of robot manipulators / D. C. Theodoridis, Y. S. Boutilis, M. A. Christodoulou // International Journal of Robotics and Automation. – 2011. – Vol. 26, No. 1. – P. 64–75. – DOI 10.2316/Journal.206.2011.1.206-3401.

10 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. – Vol. 245. – P. 235–246. – DOI 10.1007 978 981 16 3349 2_20.

M. E. Nikolaev, V. A. Perfilov, S. S. Kowryzhko, Y. R. Yakutkin, A. S. Dudnikov

SEMI-AUTOMATED LOADING AND TRANSPORT UNIT

Abstract. In order to optimize the technological operations of oil and gas pipeline construction (loading, transportation and installation), an integrated system with the introduction of partial automation elements is proposed, implemented in the form of a semi-automated loading and transport unit. The design scheme of the unit is based on two manipulators of a sequential structure, the ends of which are equipped with clamp-type grappling devices. A distinctive feature of the loading and transport unit design is the presence of an annular welding machine in one of the lifting mechanisms. Partial automation of the process consists in the fact that welding of the mounted elements, return of the manipulators to their original position at specified coordinates and capture of the pipeline from the body are carried out automatically, which increases the productivity of the proposed unit design.

The technological process of moving laying and installing pipes using the mechanism developed by the authors is considered. A theoretical service area with a numerical solution in the MathCAD software package is calculated. A kinematic analysis of the mechanism was carried out with the determination of the speeds and accelerations of the actuating links. As a result, the performance coefficient of the proposed semi-automated loading and transport unit $K = 2.4$ was established in comparison with the basic analog of the pipelayer – CHTZ/TR12/TR20.

Keywords: semi-automated loading and transport unit, manipulator, cargo handling, kinematics, service area, degree of mobility.

For citation: Semi-automated loading and transport unit / M. E. Nikolaev, V. A. Perfilov, S. S. Kowryzhko [et. al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2025. – No. 2. – P. 87–95. – DOI 10.46973/0201-727X_2025_2_87.

Сведения об авторах

Николаев Максим Евгеньевич

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

Перфилов Владимир Александрович

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолгГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,

Information about the authors

Nikolaev Maxim Evgenievich

Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University
(IAaC VSTU),
Chair “Oil and Gas Structures”,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

Perfilov Vladimir Aleksandrovich

Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University
(IAaC VSTU),
Chair “Oil and Gas Structures”,

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой,
e-mail: vladimirperfilov@mail.ru

Коврыжко Сергей Сергеевич

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

Якуткин Ярослав Родионович

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолгГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
студент,
e-mail: yyakutkin@gmail.com

Дудников Алексей Сергеевич

Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического
университета (ИАиС ВолгГТУ),
кафедра «Нефтегазовые сооружения»,
студент,
e-mail: alexdud2014@yandex.ru

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Head of Chair,
e-mail: vladimirperfilov@mail.ru

Kowryzhko Sergey Sergeevich

Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University
(IAaC VSTU),
Chair “Oil and Gas Structures”,
Student,
e-mail: kowryzhcko@yandex.ru

Yakutkin Yaroslav Rodionovich

Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University
(IAaC VSTU),
Chair “Oil and Gas Structures”,
Student,
e-mail: yyakutkin@gmail.com

Dudnikov Alexey Sergeevich

Institute of Architecture and Construction
of Volgograd State Technical University
(IAaC VSTU),
Chair “Oil and Gas Structures”,
Student,
e-mail: alexdud2014@yandex.ru