ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-41

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE PINCER GRIPPER FOR THE LOADING AND TRANSPORT UNIT

M.E. Nikolaev

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 12.12.2020

Submitted 01.03.2021

The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, No. 19-38-90067 "Postgraduates" and the Presidential Scholarship "SP-2987.2021.1".

Summary

The design of a loading and transport unit on a mobile chassis with a two-stage controlled pincer grip is proposed. A special feature of the design is the versatility of the gripper device, which is capable of grabbing mesh bags with vegetables without injury. The structural structure of the manipulator is justified. The main geometric parameters of the dimensions of the links are determined. The parameters of the pincer grip are justified. The dependences of the holding force on the weight of the bag and the angle of the grip lever position are given. The device of the robotic loader of nets with a turnip onion is presented.

Abstract

Introduction. During the harvesting of root-tuberous vegetables such as onions and sea-foraging, they are packed in the field in mesh bags in order to carry out the correct primary drying process, in such containers they are transported to the warehouse for further processing. Analysis of the mechanization of agricultural loading and unloading operations shows that loading vegetables packed in mesh bags is one of the most complex technological operations. **Object.** The object of the study is the construction of a loading and transport unit on a mobile chassis with a two-stage controlled pincer grip. **Materials and methods.** For mechanization of loading works at harvest vegetables, bagged in bags, developed robotic handling unit, which allows you to capture the process from the field and bags-loading in the back of a self-propelled chassis. Previously, the problems of structural and kinematic analysis were solved, the geometric parameters of the links of the manipulator mechanism were justified, and the service area was formed. Guaranteed load retention or seizure is caused by the geometric circuit, a power circuit, ensure that the translational and rotational movements of captured parts. **Results and conclusions.** Based on the analysis, a design and technological scheme of a self-propelled loading vehicle with a robotic manipulator-tripod for bags of vegetables is proposed and developed. The structure, geometric and kinematic parameters of the manipulator of the loading vehicle and the capture of bags that provide the necessary retention and movement of cargo are justified. Analytical dependences between the design parameters of the manipulator arm are obtained, which make it possible to ensure the constant speed of the loading unit. Analytically formulated is the problem of orientation of the gripper in space, the solution of which is necessary for the formation of program movements of the manipulator in automatic operation. The design of the manipulator was developed and manufactured, on the basis of which the experimental stand was assembled. Experimental studies were conducted to determine the actual performance of the loader. The technical vision system is configured to recognize grids with vegetables.

Key words: *loading and transport unit, geometric parameters, pincer gripper, electric cylinder, agricultural loader.*

Citation. Nikolaev M. E. Substantiation of the parameters of the pincer grip of the loading and transport unit. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1 (61). 431-441 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-41.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

УДК 621.869

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЛЕЩЕВОГО ЗАХВАТА ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА

М. Е. Николаев, заведующий лабораторией

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 12.12.2020

Дата принятия к печати 01.03.2021

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 19-38-90067 "Аспиранты" и стипендии Президента "СП-2987.2021.1".

Актуальность. Во время уборки корнеклубневых овощей, таких как лук и морковь, затаривание их в поле происходит в мешки-сетки, чтобы произвести правильный процесс первичной сушки, в такой таре они и транспортируются на склад для дальнейшей обработки. Анализ механизации сельскохозяйственных погрузочно-разгрузочных работ показывает, что погрузка овощей, упакованных в мешки-сетки, является одной из наиболее сложных технологических операций. **Материалы и методы.** Для механизации погрузочных работ при уборке овощей, затаренных в мешки, разработан роботизированный погрузочно-транспортный агрегат, который позволяет вести процесс захват мешков с поля и самозагрузки в кузов самоходного шасси. Ранее были решены задачи структурного и кинематического анализа, обоснованы геометрические параметры звеньев механизма манипулятора, сформирована зона обслуживания. Гарантированное удержание груза захватом обуславливается либо геометрическим замыканием, либо силовым замыканием, обеспечивающим невозможность поступательных и вращательных движений захватываемых тел. **Результаты и выводы.** На основе проведенного анализа предложена и разработана конструктивно-технологическая схема самоходного погрузочно-транспортного средства с роботизированным манипулятором-триподом для мешков с овощами. Обоснованы структура, геометрические и кинематические параметры манипулятора погрузочно-транспортного средства и захвата мешков, обеспечивающих необходимое удержание и перемещение груза. Получены аналитические зависимости между конструктивными параметрами манипулятора, позволяющими обеспечить постоянство скорости движения погрузочного агрегата. Аналитически сформулирована задача ориентации захвата в пространстве, решение которой необходимо для формирования программных движений манипулятора в автоматическом режиме работы. Разработана и изготовлена конструкция манипулятора, на основе которой собран экспериментальный стенд. Проведены экспериментальные исследования по определению фактической производительности погрузчика. Настроена система технического зрения для распознавания сеток с овощами.

Ключевые слова: погрузочно-транспортные агрегаты, геометрические параметры клещевого захвата, сельскохозяйственные погрузчики.

Цитирование. Николаев М. Е. Обоснование параметров клещевого захвата погрузочно-транспортного агрегата. *Известия НВ АУК*. 2021. 1 (61). 431-441. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-41.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В агропромышленном комплексе наибольший объем штучных грузов составляют мешки-сетки с овощной продукцией массой от 30 до 60 кг. Уборка с поля таких овощей, как лук и морковь в основном происходит с затариванием их в сетки, в таком виде происходит их последующая погрузка и транспортировка к месту сбыта. При уборке урожая такой технологический процесс является одним из наиболее сложных, так как объем ручного труда при заготовке овощной продукции составляет от 40 до 50 %. Устранить данную проблему можно только комплексной механизацией и автоматизацией операций [5, 9].

Отличительной особенностью погрузочно-транспортных агрегатов в сельском хозяйстве является точность позиционирования грузозахватного органа. При выполнении технологических операций при погрузке и разгрузке штучных грузов, требования к точности перемещения грузозахватного органа меньше, чем к исполнительным приводам, поэтому для сельскохозяйственных погрузчиков требуется невысокая точность позиционирования, зависящая от величины допустимых отклонений положений груза на исходной позиции и позиции разгрузки.

Целью исследования является разработка и обоснование параметров сельскохозяйственного погрузочно-транспортного агрегата. При этом ставится задача, направленная на обоснование параметров клещевого захвата для безопасной погрузки мешков-сеток в кузов погрузчика.

Материалы и методы. Для механизации погрузочных работ при уборке овощей, затаренных в мешки, разработан роботизированный погрузочно-транспортный агрегат, который позволяет вести процесс захват мешков с поля и самозагрузки в кузов самоходного шасси [3, 4, 8].

Ранее были решены задачи структурного и кинематического анализа, обоснованы геометрические параметры звеньев механизма манипулятора, сформирована зона обслуживания [1, 2, 6, 7, 11].

Гарантированное удержание груза захватом обусловливается либо геометрическим замыканием, либо силовым замыканием, обеспечивающим невозможность поступательных и вращательных движений захватываемых тел.

Нормальная удерживающая сила при удержании груза только за счет сил трения плоских поверхностей губок (рисунок 1) имеет зависимость:

$$N_1 = N_2 = \frac{Q}{2f}, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения поверхности груза.

На практике часто встречается сложное нагружение захватных устройств. Для таких случаев расчет следует производить для наиболее неблагоприятного сочетания нагрузок, если оно однозначно не определяется, или делать это для нескольких вариантов нагружения.

Для рычажного захвата с плоскими губками величина удерживающей силы определится из выражения:

$$P \geq \frac{2 \sum_{j=1}^N M_j \cdot \cos \varphi}{b \cdot \eta}, \quad (2)$$

где φ – угол рычажной системы; b – размер плеча рычага; $\eta = 0,90-0,95$ -КПД, учитывающий потери в рычажной системе; $M_j = N_j(l + b \cdot \cos \varphi)$ – момент на рычагах захвата, $H \cdot m$

Рисунок 1 – Расчетная схема захватного устройства рычажного типа
Зависимость удерживающей силы от геометрических параметров в общем виде

Figure 1 – Design scheme of the lever-type gripper
The dependence of the holding force on the geometric parameters in general form

$$P(\varphi) = \frac{2N_i(L + b \cdot \cos \varphi) \cdot \cos \varphi}{b \cdot \eta} \quad (3)$$

Графические зависимости удерживающей силы P в зависимости от угла положения рычага φ при различных массах брутто мешков с луком приведены на рисунке 1, а на рисунке 2 представлена поверхность, характеризующая зависимость удерживающей силы P от угла положения рычага φ и его длины b . Например, задавшись длиной рычага $b = 0,3 \text{ м}$ и выбрав угол положения рычага $\varphi = 45^\circ$ в положение зажатия сетки с овощами, получаем минимально необходимое удерживающее усилие $P = 800 \text{ Н}$. Таким образом, полученные зависимости (3) (рисунки 2, 3) позволяют на этапе проектирования захватного устройства выбрать приводы для обеспечения необходимой удерживающей силы. Здесь, однако, следует помнить о том, что удерживающим грузом являются овощи, которые при значительном силовом воздействии на них могут быть повреждены.

Рисунок 2 – Зависимость удерживающей силы от массы мешка и угла положения рычага захвата

Figure 2 – Dependence of the holding force on the weight of the bag and the angle of the grip lever position

Рисунок 3 – Зависимость удерживающей силы P от угла положения рычага φ и его длины b при массе брутто $m = 30 \text{ кг}$

Figure 3 – Dependence of the holding force P on the angle of the lever position φ and its length b at the gross weight $m = 30 \text{ кг}$

Для клещевого захвата (рис.2) приведенные усилия замыкания:

$$N_1 = N_2 = \frac{k_o \cdot Q}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta}, \quad (4)$$

где β – угол между горизонталью и направленным нормалью реакцией опорой поверхностью

груз.

Для клещевых захватов значение усилия в захватной петле

$$P = k_2 \cdot Q, \quad (5)$$

где k_2 - коэффициент, учитывающий силу тяжести захвата и потери на трение в его шарнирах; коэффициент k_2 можно рассчитать по формуле:

$$k_2 = k_n \cdot \left(l + \frac{G}{Q} \right), \quad (6)$$

где G – сила тяжести захвата; k_n – коэффициент потерь на трение в шарнирах ($k_n = 1, 15 \dots 1, 20$).

Уравнение равновесия рычага захвата:

$$Sb - N_i \cdot l + \frac{Qa}{4} = 0. \quad (7)$$

Из выражения (7)

$$S = \frac{N \cdot l - \frac{Qa}{4}}{b} \quad (8)$$

или с другой стороны

$$S = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{k_2 \cdot Q}{2 \cdot \sin \alpha}. \quad (9)$$

Приравнивая выражения (8) и (9), получим:

$$\frac{N \cdot l - 0,25 \cdot Q \cdot a}{b} = \frac{k_2 \cdot Q}{2 \cdot \sin \alpha}, \quad (10)$$

откуда

$$\sin \alpha = \frac{k_2 \cdot b}{2 \cdot N \cdot l - 0,5 \cdot Q \cdot a}. \quad (11)$$

Последнее выражение можно использовать при проектировании захвата мешков.

$$\sin \alpha = \frac{k_2 \cdot b}{\frac{k_2 \cdot l}{\operatorname{tg} \beta} - 0,5 \cdot a}. \quad (12)$$

Минимально необходимое удерживающее усилие определится из выражения:

$$P(\varphi) \geq \frac{2 \cdot \cos \varphi (N \cdot l - 0,25 \cdot Q \cdot a)}{b}. \quad (13)$$

Figure 4 – Calculation scheme of the pincer grip

Figure 5 – Dependence of the holding force P on the angle of the position φ and its length at b the gross mass

На рисунке 5 представлена зависимость удерживающей силы клещевого захвата по схеме (рисунок 4) от угла положения рычагов φ и их длине b . Как видно из зависимости, величины удерживающих сил в клещевом захвате с загнутыми губками в 5 раз меньше, чем у захвата с плоскими губками. Вследствие чего, последняя схема предпочтительнее с точки зрения меньшего силового воздействия на сетку с овощами и соответственно меньшего повреждения овощей.

Результаты и обсуждение. С учетом полученных зависимостей разработан сельскохозяйственный погрузочно-транспортный агрегат, состоящий из самоходного шасси Т-16МГ (рисунок 6) 1, к раме 2 которого крепится пространственный параллелограммный механизм, который состоит из четырех стоек 3, закрепленных посредством цилиндрических шарниров к раме 2 самоходного шасси, позволяющих при помощи исполнительных цилиндров 4 осуществлять угол поворота таким образом, что платформа 5 сохраняется в горизонтальном положении. К платформе 5 крепится манипулятор-трипод, имеющий три линейных электромеханических привода 6, концы которых с одной стороны крепятся к платформе 5. Штоки противоположных концов трех линейных приводов-актуаторов соединены между собой и с двухступенным управляемым захватом 7 посредством пятиподвижного сферического шарнира 8.

Рисунок 6 – Устройство роботизированного погрузчика сеток

Figure 6 – Device of a robotic mesh loader

На основание 5 и рамы 2 установлены датчики технического зрения таким образом, чтобы обеспечивать обзор для распознавания и определения координат захватываемого груза [10].

Двухступенной управляемый захват 7 содержит два независимых звена 9, 10 и грузозахватный орган 11, расположенных последовательно друг за другом, при этом звенья 9 и 10 соединены между собой посредством вращательных цилиндрических шарниров с кинематической парой пятого класса. Грузозахватный орган 11 самоустанавливающийся и управляется линейным приводом 12.

Вся конструкция манипулятора выполнена в виде навесного модуля на лонжероны самоходного шасси. Это позволяет использовать погрузчик сеток с различными энергетическими модулями: Т-16МГ, СШ-2540, ВТЗ-30СШ, Агромаш 30СШ/50СШ.

Исполнительный привод манипулятора является комбинированным. Манипулятор-трипод выполнен на основе электроцилиндров SKF CABH-21 с питанием от постоянного тока напряжением 24 В. Привод параллелограммного механизма выполнен гибридным.

Выводы. На основе проведенного анализа разработана и предложена конструктивно-технологическая схема самоходного погрузочно-транспортного средства с роботизированным манипулятором-триподом для мешков с овощами (патенты РФ № 2700304, № 2651781, № 183544, № 183553). Обоснованы структура, геометрические и кинематические параметры манипулятора погрузочно-транспортного средства и захвата мешков, обеспечивающих необходимое удержание и перемещение груза. Получены аналитические зависимости между конструктивными параметрами манипулятора, позволяющими обеспечить постоянство скорости движения погрузочного агрегата. Аналитически сформулирована задача ориентации захвата в пространстве, решение которой необходимо для формирования программных движений манипулятора в автоматическом режиме работы. Разработана и изготовлена конструкция манипулятора, на основе которой собран экспериментальный стенд. Проведены экспериментальные исследования по определению фактической производительности погрузчика. Настроена система технического зрения для распознавания сеток с овощами.

Библиографический список

1. Дяшкин-Титов В. В., Павловский В. Е. Задача оптимального управления перемещением схвата манипулятора-трипода // Известия нижеволжского агроинженерного комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4(36). С. 241-247.
2. Захаров Е. Н., Несмиянов И. А. Синтез закона движения поворотного основания погрузочного манипулятора-трипода // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2019. № 3 (226). С. 18-21.
3. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования / В. М. Герасун, В. И. Пындак, И. А. Несмиянов, В. В. Дяшкин-Титов, В. Е. Павловский // Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша, 2012. № 44. 24 с.
4. Обоснование параметров механизмов перемещения контейнеров на погрузочно-транспортном агрегате / М. Н. Шапров, И. С. Мартынов, М. А. Садовников, А. В. Седов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1 (53). С. 299-306.
5. Развитие работ по созданию робототехники сельхозназначения / З. А. Годжаев, А. П. Гришин, И. А. Пехальский, А. А. Гришин, В. А. Гришин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119. С. 488-502.
6. Разработка базы моделей манипулятора параллельно-последовательной структуры / Н. С. Воробьева, В. В. Жога, В. В. Дяшкин-Титов, А. В. Дяшкин // Известия ЮФУ. Технические науки. 2017. № 9 (194). С. 143-152.
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.
8. Система управления манипулятора сельскохозяйственного назначения / И. А. Несмиянов, В. В. Жога, В. Е. Павловский, Н. С. Воробьева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3(35). С. 226-231.
9. Тенденции развития средств механотроники, автоматизации и роботизации для синтеза новых высокопроизводительных технологий, и машин в сельском хозяйстве / З. А. Годжаев, В. К. Хорошенков, Н. Т. Гончаров, Е. Н. Ильченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 3 (329). С. 4-16.

10. Algorithm to synthesize control force for tripod manipulator drives / V. V. Zhoga, V. V. Dyashkin-Titov, I. A. Nesmiyanov, A. V. Dyashkin // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. V. 154. P. 223-235.

11. Nikolaev M. E., Nesmiyanov 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. International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering", ToPME - 2019. 2020. P. 012125.

Conclusions. Based on the analysis, a design and technological scheme of a self-propelled loading vehicle with a robotic manipulator-tripod for bags of vegetables (patents of the Russian Federation) is proposed and developed № 2700304, № 2651781, № 183544, № 183553). The structure, geometric and kinematic parameters of the manipulator of the loading vehicle and the capture of bags that provide the necessary retention and movement of cargo are justified. Analytical dependences between the design parameters of the manipulator that allow to ensure the constant speed of the loading unit are obtained. Analytically formulated is the problem of orientation of the gripper in space, the solution of which is necessary for the formation of program movements of the manipulator in automatic operation. The design of the manipulator was developed and manufactured, on the basis of which the experimental stand was assembled. Experimental studies were conducted to determine the actual performance of the loader. The technical vision system is configured to recognize grids with vegetables.

Reference

1. Dyashkin-Titov V. V., Pavlovsky V. E. The problem of optimal control of the movement of the grip of the manipulator-tripod // Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agroengineering Complex: science and Higher professional education. 2014. № 4(36). P. 241-247.

2. Zakharov E. N., Nesmiyanov I. A. Synthesis of the law of motion of the rotary base of the loading manipulator-tripod // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2019. No. 3 (226). Pp. 18-21.

3. Manipulators for mobile robots. Concepts and principles of design / V. M. Gerasun, V. I. Pyndak, I. A. Nesmiyanov, V. V. Dyashkin-Titov, V. E. Pavlovsky // Preprint of the IPM named after M. V. Keldysh, 2012. No. 44. 24 p.

4. Justification of the mechanisms of moving the containers for loading and transport unit / M. N. Chuprov, S. I. Martynov, M. A. Sadovnikov, A. V. Sedov // Proceedings of the XVIII agrouniversity complex: science and higher professional education. 2019. № 1 (53). Pp. 299-306.

5. Razvitie raboty po sozdaniyu robototekhnika selkhozna znacheniya / Z. A. Gojaev, A. P. Grishin, I. A. Pekhalsky, A. A. Grishin, V. A. Grishin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016. No. 119. Pp. 488-502.

6. The development of models of the manipulator parallel-serial structure / N. S. Vorobyova, V. V. Goga, V. V. Dyashkin-Titov, A. V. Dyashkin // Izvestiya yufu. Technical sciences. 2017. № 9 (194). Pp. 143-152.

7. Distributed control system of loading manipulator of parallel-sequential structure / I. A. Nesmiyanov [et al.] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshego professional obrazovanie. 2017. № 1(45). Pp. 260-266.

8. Control system of agricultural manipulator / I. A. Nesmiyanov [et al.] // Proceedings of the XVIII agrouniversity complex: science and higher professional education. 2014. № 3(35). Pp. 226-231.

9. Trends in the development of mechanotronics, automation and robotization tools for the synthesis of new high-performance technologies, and machines in agriculture / Z. A. Gojaev, V. K. Khoroshenkov, N. T. Goncharov, E. N. Ilchenko // Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2018. № 3 (329). Pp. 4-16.

10. Algorithm to synthesize control force for tripod manipulator drives / V. V. Zhoga, V. V. Dyashkin-Titov, I. A. Nesmiyanov, A. V. Dyashkin // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. V. 154. P. 223-235.

11. 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. International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering", ToPME - 2019. 2020. P. 012125.

Authors Information

Nikolaev Maksim Evgenevich, Head of the Laboratory of the Department of "Mechanics" of the Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400002), tel. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru

Информация об авторе

Николаев Максим Евгеньевич, заведующий лабораторией кафедры "Механика" ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет (400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), тел. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: mr.maks.nikolaev.1994@mail.ru: