7. Popov V. A., Ostrovsky N. V. Agroclimatology and hydraulics of rice ecosystems: monograph. Krasnodar: KubGAU, 2013. 189 p.
8. Rau A. G., Bakirova A. Sh. The influence of the temperature of the water layer of rice checks on the yield of rice // Rice growing. 2019. No. 2(43). P. 48-51.
9. The system of agriculture of the Krasnodar Territory on an agro-landscape basis / A. N. Korobka, S. Yu. Orlenko, E. V. Alekseenko [et al.]. Krasnodar: LLC "Enlightenment-Yug", 2015 352 p.
10. Kharitonov E. M., Skazhennik M. A., Galkin G. A. Climatic and physiological aspects of rice crop formation in the Krasnodar Territory // Rice growing. 2014. № 2 (25). Pp. 6-12.
11. Buber A. L., Bondarik I. G., Buber A. A. Development of approaches to water resources management in the Lower Kuban to ensure water user requirements in low-water years // Irrigation and Drainage. 2019. Vol. 69. Iss. 1. P. 3-10. <https://doi.org/10.1002/ird.2387>.
12. Dobrachev Y. P., Fedotova E. V. Water supply volumes and temperature regime influence on rice productivity in the Lower Kuban reclamation complexes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 577. Mathematical modeling of technical and economic systems in agriculture II. 2020. May 10. 012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/17551315/577/1/012005>.

Author's Information

Dobrachev Yuri Pavlovich, chief researcher at the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova (Russian Federation, 125550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44, Building 2). E-mail: dobrachev@yandex.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-2186-3652

Fedotova Ekaterina Viktorovna, researcher at the All-Russian Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova (Russian Federation, 125550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya St., 44 Building, 2). E-mail: katya_fedotova94@mail.ru

Информация об авторах:

Добрачев Юрий Павлович, главный научный сотрудник «Всероссийского научноисследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (РФ, 125550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, строение 2). E-mail: dobrachev@yandex.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-2186-3652

Федотова Екатерина Викторовна, младший научный сотрудник «Всероссийского научноисследовательского института гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова» (РФ, 125550, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, строение 2). E-mail: katya_fedotova94@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-36

PLANNING OF LOADING MANIPULATOR CAPTURE TRAJECTORIES ACCORDING TO ENERGY EFFICIENCY CRITERIA AND ESTIMATION OF DRIVE OPERATION COSTS

I. A. Nesmiyanov, M.E. Nikolaev

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 25.09.2021

Submitted 09.11.2021

The work was supported by the Presidential scholarship "SP-2987.2021.1".

Summary

The design of the manipulation mechanism is proposed and manufactured, on the basis of which an experimental loading and transport unit is assembled. The developed loading and transport unit with a parallel-sequential structure manipulator can be installed on a self-propelled chassis «Agromash SH-50» or «VZT-30SSH». The actual trajectories of the loader gripper movement are obtained, theoretically justified inclusions are confirmed and allow for the movement of cargo and its positioning over the entire part area. As a result of experimental studies, a change in the work expended during the operation cycle was obtained when loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit at various points of placement in the part when implementing the specified program movements along energy-efficient trajectories.

Abstract

Introduction. Agricultural production is characterized by a large volume of handling operations, especially in the production of vegetables. When harvesting vegetables from the field, such as onions, carrots, potatoes, the method of packing vegetables in soft containers (nets) is mainly used, followed by loading into a vehicle and delivery to a consumer or a temporary storage place. An important indicator of the operation of automatic and semi-automatic lifting mechanisms is the planning of programmed movements of the lifting part. The efficiency and productivity of the loading and transporting unit directly depends on the location and orientation of the bags in the field. **Materials and methods.** For the mechanization of loading operations when harvesting vegetables packed in bags, the problem and methods of orientation and planning of trajectories of the tick-borne gripping of soft containers in space according to efficiency criteria are analytically formulated, which ensure the maximum productivity of the loading and transport unit during loading operations. **Results and conclusions.** The design of the manipulation mechanism was developed and manufactured, on the basis of which the experimental loading and transport unit was assembled. The developed manipulation mechanism can be installed on the «Agromash SSH-50» or «VZT-30SSH» self-propelled chassis. The obtained actual trajectories of the loader gripper movement confirm the theoretically substantiated inclusions and allow the movement of the load and its positioning throughout the part volume. As a result of experimental studies, energy-efficient trajectories of loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit were obtained.

Keywords: *loading and transport unit, actuators, actual trajectories, efficiency criteria, load-grabbing part, on-off cyclograms, program movements, work expended.*

Citation. Nesmiyanov I. A., Nikolaev M. E. Planning of loading manipulator capture trajectories according to energy efficiency criteria and estimation of drive operation costs. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 4 (64). 356-367 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-36.

Author's contribution. The authors conducted research, summarized and analyzed the results and wrote a manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

УДК 621.869

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ЗАХВАТА ПОГРУЗОЧНОГО МАНИПУЛЯТОРА ПО КРИТЕРИЯМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ОЦЕНКА ЗАТРАТ РАБОТЫ ПРИВОДОВ

И. А. Несмиянов, доктор технических наук, доцент
М. Е. Николаев, заведующий лабораторией

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 25.09.2021

Дата принятия к печати 09.11.2021

Работа поддержана стипендией Президента "СП-2987.2021.1".

Актуальность. Сельскохозяйственное производство характеризуется большим объемом погрузочно-транспортных работ, особенно при производстве овощей. При уборке с поля овощей, таких как лук, морковь, картофель в основном используется способ затаривания овощей в мягкую тару (сетки), последующую погрузку в транспортное средство и доставку до потребителя или место временного хранения. Важным показателем работы автоматических и полуавтоматических грузоподъемных механизмов является планирование программных движений грузозахватного органа. Эффективность и производительность погрузочно-транспортного агрегата напрямую зависит от расположения и ориентирования в пространстве мешков на поле. **Материалы и методы.** Для механизации погрузочных работ при уборке овощей, затаренных в мешки, аналитически сформулирована задача и методы ориентации и планирования траекторий клещевого захвата мягкой тары в пространстве по критериям эффективности, обеспечивающим

максимальную производительность погрузочно-транспортного агрегата на погрузочных работах. **Результаты и выводы.** Разработана и изготовлена конструкция манипуляционного механизма, на основе которого собран экспериментальный погрузочно-транспортный агрегат. Разработанный манипуляционный механизм может устанавливаться на самоходное шасси «Агромаш» СШ-50 или ВЗТ-30СШ. Полученные фактические траектории перемещения захвата погрузчика подтверждают теоретически обоснованные включения и позволяют осуществлять перемещение груза и его позиционирования по всему объему кузова. В результате проведения экспериментальных исследований получены энергоэффективные траектории погрузки мешка с овощами в продольной плоскости агрегата.

Ключевые слова: погрузочно-транспортные агрегаты, исполнительные приводы, фактические траектории, грузозахватные органы, циклограммы включения-выключения.

Цитирование. Несмиянов И. А., Николаев М. Е. Планирование траекторий захвата погрузочного манипулятора по критериям энергоэффективности и оценка затрат работы приводов. *Известия НВ АУК*. 2021. 4 (64). 356-367. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-36.

Авторский вклад. Авторы провели исследования, обобщили и проанализировали полученные результаты и написали рукопись.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сельскохозяйственное производство характеризуется большим объемом погрузочно-транспортных работ, особенно при производстве овощей. При уборке с поля овощей, таких как лук, морковь, картофель, в основном используется способ затаривания овощей в мягкую тару (сетки), последующую погрузку в транспортное средство и доставку до потребителя или место временного хранения.

Несмотря на развитие средств механизации, в сельскохозяйственном производстве объем ручного труда на заготовке плодоовощной продукции достигает до 40 %...50 %. Устранить этот недостаток возможно только комплексной механизацией и автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций [3, 5, 6].

Важным показателем работы автоматических и полуавтоматических грузоподъемных механизмов является планирование программных движений грузозахватного органа. Эффективность и производительность погрузочно-транспортного агрегата напрямую зависит от расположения и ориентирования в пространстве мешков на поле.

Одной из задач управления захватом является достижение заданной точки в неопределенной внешней среде при избегании столкновений со стационарными и подвижными объектами. В некоторых же случаях управление захватом должно обеспечивать движение по желаемой траектории с наименьшими энергозатратами [1, 2, 7].

Материалы и методы. Для механизации погрузочных работ при уборке овощей, затаренных в мешки, аналитически сформулированы задача и методы ориентации и планирования траекторий клещевого захвата мягкой тары в пространстве по критериям эффективности, обеспечивающие максимальную производительность погрузочно-транспортного агрегата на погрузочных работах.

Результаты и обсуждение. С целью планирования программных движений исполнительных приводов манипулятора рассмотрен технологический процесс сбора и погрузки сеток с овощами погрузочно-транспортным агрегатом (рисунок 1).

Мешки с овощами в случайном порядке расположены на поле в точках $C_1, C_2, \dots, C_N$. Самоходное шасси 1 движется по полю с заданной технологической скоростью $V_{сш}$, причем эта скорость является постоянной на заданном участке ($V_{сш} = const$). На шасси установлен кузов 2 для укладки сеток, погрузка и укладка осуществляется роботизированным манипулятором 3 с клещевым захватом для сеток (мешков) [9, 11].

В общем случае последовательность захвата мешка определяется решением задачи коммивояжера, т.е. наиболее кратчайшими расстояниями S_{12}, S_{23}, S_{34} и т.д.

Задачу оптимального перемещения можно представить в виде минимизации функции:

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n S_{i,i+1} \rightarrow \min. \quad (1)$$

При захвате сетки в точке C_1 захват перемещается в заданные координаты, при этом точки M и C_1 совмещаются. Захваченный мешок перемещается в ближайшее свободное место в кузове (рисунок 1, а) по кратчайшей траектории P_i . Для данного вида перемещения захвата с мешком в кузов оптимальным будет движение по кратчайшей траектории (прямой).

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n P_i \rightarrow \min. \quad (2)$$

Пока осуществлялось перемещение захвата с мешками по траектории P_i (рисунок 1, а) и H_i (рисунок 1, б), шасси переместилось на расстояние $L_{сш}$.

После того как мешок C_1 был погружен, захват необходимо переместить к следующей точке C_2 , при этом если нет препятствий, то траектория H_i может быть любой, за критерий эффективности здесь можно принять функцию минимизации времени:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{Mcp}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $V_{сш}=const$; V_{Mcp} – средняя скорость точки M перемещения захвата за цикл.

После захвата мешка из точки C_2 он перемещается в кузов в ближайшее свободное место по траектории P_{i+1} . Далее весь технологический цикл повторяется до полного заполнения кузова.

В результате получаем следующие критерии оптимальности, представленные в выражениях (1, 2, 3). Перемещение мешка в кузов P_i желательно осуществлять по кратчайшему расстоянию, то же относится и к перемещению захвата к мешку S_i , а перемещение H_i желательно производить за минимальное время.

С целью формирования траекторий движения захвата манипулятора погрузочно-транспортного агрегата задались временным законом изменения траекторий:

$$S_i(t) = \frac{(u_i^2 + u_{i-1}^2) \cdot V_{\max}^2 \cdot t^2}{4S'_i} + u_{i-1} \cdot V_{\max} \cdot t, \quad (4)$$

где $u_i = V_i/V_{\max}$ – относительная скорость в i -й точке траектории, для выбранных типов электро- и гидроцилиндров находится в пределах 0,325...1; $V_{\max}=0, 2$ м/с – максимальная скорость движения захвата; $S'_i = 1, 1 \dots 3, 2$ м – величина пути между опорными точками на i -м интервале, зависит от координат точки захвата груза с поля и точки погрузки в кузов самоходного шасси [2, 3].

При этом средняя скорость перемещения захвата на i -м участке определится как:

$$V_i(S) = V_{\max} \left(\frac{u_i - u_{i-1}}{S'_i} \cdot S + u_{i-1} \right). \quad (5)$$

Рисунок 1 – Технологический процесс сбора и погрузки сеток с овощами: а – перемещение погрузочно-транспортного агрегата к мешку C_1 ; б – перемещение погрузочно-транспортного агрегата к мешку C_2 ; в – перемещение погрузочно-транспортного агрегата к мешку C_3

Figure 1 – Technological process of collecting and loading nets with vegetables: a - moving the loading and transport unit to bag C_1 ; b - moving the loading and transport unit to bag C_2 ; c - moving the loading and transport unit to bag C_3

Важным параметром является равномерность движения погрузочно-транспортного агрегата по полю. Время выполнения технологического процесса погрузки мешков в кузов определяется из выражения [4, 8]:

$$T_{ТП} = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{N-1} l_i}{P_p} \cdot k_u + T_{ВЦ}, \quad (6)$$

где N – количество мешков, уместяющихся в кузове; l_i – расстояние между соседними (близлежащими) мешками; V_{cp} – средняя скорость движения погрузочно-транспортного агрегата; P_p – вероятность нахождения погрузочно-транспортного агрегата непосредственно в работе; k_u – коэффициент потерь циклового времени, зависящий от особенностей организации технологического процесса погрузки, в том числе от расположения мешков на поле, ориентации их в пространстве; $T_{ВЦ}$ – внецикловое время (затрата времени на ежедневное техническое обслуживание).

Расчетная (техническая) производительность погрузочно-транспортного агрегата при работе с одинаковыми по весу штучными грузами определится как:

$$W_T = n \cdot Q_n \cdot k_{ep} \cdot k_B, \quad (7)$$

где $n = 3600/t_u$ – число циклов перемещения грузов при непрерывной работе за час; $Q_n = 0,035 \dots 0,05$ т – масса груза; $k_{ep} = 0,65 \dots 0,85$, $k_B = 0,91$ – соответственно коэффициенты использования грузоподъемности и использования по времени; t_u – время, затрачиваемое на движение захвата в течение цикла, с.

С учетом выражений (4) и (5) продолжительность цикла:

$$t_u = \varepsilon \sum_1^n \left(\frac{S_i}{v_i} + t_{\Pi} \right), \quad (8)$$

где $\varepsilon = 0,7 \dots 0,8$ – коэффициент совмещения операций; t_{Π} – время пауз и время на захват и освобождение груза, с,

Таким образом, выражение (7) с учетом (8) примет вид:

$$W_t = \frac{3600 \cdot Q_n \cdot k_{ep} \cdot k_B}{\varepsilon \sum_1^n \left(\frac{S_i}{v_i} + t_{\Pi} \right)}. \quad (9)$$

Для разработанного погрузочно-транспортного агрегата при принятых выше значениях параметров расчетная производительность составляет 1,55 т/ч, 1,62 т/ч и 1,89 т/ч соответственно при работе с грузами (мешками) 30 кг, 40 кг и 50 кг.

Анализ результатов экспериментальных исследований и результатов обработки осциллограмм, а именно по величинам изменения длин штоков гидро- и электроцилиндров были получены фактические траектории перемещения груза, которые были наложены на зону обслуживания захвата (рисунок 2) [12, 15].

Рисунок 2 – Фактические траектории перемещения груза

Figure 2 – Actual trajectories of cargo movement

Как видим, на рисунках 2 и 3 фактическая траектория является кусочной кривой, состоящей из нескольких участков, количество участков и их кривизна зависят от последовательности и одновременности работы различных приводов. Например, траектория 2 (рисунок 3) состоит из 7-ми участков, это в случае, когда мешок перемещается в дальнюю точку кузова, при этом обходя препятствия в виде мешков в середине кузова. На рисунке 4 приведена диаграмма изменения затрачиваемой приводами работы для этого случая.

Рисунок 3 – Интегральная кривая изменения работы за цикл операции при погрузке мешка с овощами в продольной плоскости агрегата и траектория перемещения груза

Figure 3 – Integral curve of the change of work during the operation cycle when loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit and the trajectory of cargo movement

Рисунок 4 – Изменение затрачиваемой работы за цикл операции при погрузке мешка с овощами в продольной плоскости агрегата при различных точках размещения в кузове

Figure 4 – Change in the work expended during the operation cycle when loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit at different placement points in the body

На рисунке 4 приведены кривые изменения работы, затрачиваемой приводами манипулятора при различных точках размещения мешка с овощами в кузове. Минимальное значение соответствует минимальным длинам траектории, т.е. перемещению в точку, близкую в передней кромке кузова, максимальное значение соответственно при максимальной длине траектории – при перемещении к заднему борту кузова.

Вследствие того что манипулятор погрузочно-транспортного агрегата имеет в качестве исполнительных приводов электроцилиндры, для автоматизации процессов погрузки – разгрузки потребуются задание программных движений штоков для реализации повторяющихся траекторий. С этой целью по результатам обработки осциллограмм экспериментальных исследований были построены усредненные циклограммы включения – выключения приводов (рисунок 5). Положительные значения (1) соответствуют выдвиганию штоков, отрицательные (-1) – втягиванию штоков.

Рисунок 5 – Усредненная по 3 опытам циклограмма при захвате и погрузке мешка в середину кузова в продольной плоскости агрегата:

L_1 – включение первого привода, L_2 – включение второго привода, L_3 – включение третьего привода, φ – включение датчика угла поворота пространственно-параллелограммного механизма

Figure 5 – The cyclogram averaged over 3 experiments during the capture and loading of the bag into the middle of the body in the longitudinal plane of the unit

L_1 – activation of the first drive, L_2 – activation of the second drive, L_3 – activation of the third drive, φ – activation of the rotation angle sensor of the space-parallelogram mechanism

Анализ осциллограмм экспериментальных исследований показал, что для выполнения одного цикла операций необходимо от 4 до 7 включений – выключений приводов. Количество включений зависит от ориентации и расположения сетки на поле и места выгрузки в кузов [10, 13, 14].

При ручном управлении каждый привод включается вручную оператором, причем некоторые включаются одновременно, вследствие чего возникает необходимость автоматизации процесса управления приводами манипулятора. Данные циклограммы (рисунок 5) послужили основой для программирования системы управления для реализации автоматических движений, значительно облегчающих труд оператора на монотонной работе подбора с поля и погрузки овощей в мягкой таре.

Разработан погрузочно-транспортный агрегат с манипулятором-триподом и управляемым захватом (рисунок 6) (патенты РФ № 2700304, № 2651781, №183544, №183553), конструкция которого выполнена навесной и представляет собой пространственный параллелограммный механизм, состоящий из коромысел 1, которые с помо-

щью привода 7 обеспечивают при различных углах поворота стрелы горизонтальное положение платформы 3. К платформе 3 крепится манипулятор-трипод 4, а к его выходному звену 5 (универсальному шарниру) подвешивается управляемый клещевой захват 6. Причем захват самоустанавливающийся и всегда занимает вертикальное положение под действием силы тяжести, что позволяет захватывать сетки, установленные в поле вертикально. Манипулятор-трипод обеспечивает перемещение захвата сеток по ширине кузова самоходного шасси по трем декартовым координатам x , y , z .

Особенностью конструкции погрузочно-транспортного агрегата является возможность подбора сеток с овощами с поверхности поля, самозагрузки в кузов и транспортировки до места реализации или временного хранения овощей.

Рисунок 6 – Общий вид погрузочно-транспортного агрегата с манипулятором-триподом

Figure 6 – General view of a loading and transport unit with a tripod manipulator

Производительность погрузочно-транспортных работ при подборе сеток с луком зависит от скоростей исполнительных приводов, технологической скорости шасси равномерности распределения сеток (мешков) по полю, и что немаловажно, ориентации сеток по отношению к самоходному погрузчику.

Для разработанного манипулятора погрузочно-транспортного средства обоснованы структура и требуемые степени подвижности, геометрические и кинематические параметры, обеспечивающие необходимое перемещение груза. Получены аналитические зависимости между конструктивными параметрами манипулятора, позволяющими обеспечить постоянство скорости движения погрузочно-транспортного агрегата.

Разработана система управления погрузочно-транспортным агрегатом и система технического зрения.

Выводы. Разработана и изготовлена конструкция манипуляционного механизма, на основе которого собран экспериментальный погрузочно-транспортный агрегат. Разработанный манипуляционный механизм может устанавливаться на самоходное шасси «Агромаш» СШ-50 или ВЗТ-30СШ. Полученные фактические траектории перемещения захвата погрузчика подтверждают теоретически обоснованные включения и позволяют осуществлять перемещение груза и его позиционирование по всему объему кузова. В результате проведения экспериментальных исследований получены энергоэффективные траектории погрузки мешка с овощами в продольной плоскости агрегата.

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. Задача позиционирования манипулятора параллельно-последовательной структуры с управляемым захватным устройством / В. В. Жога, В. В. Дяшкин-Титов, И. А. Несмиянов, Н. С. Воробьева // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17. № 8. С. 525-530.
3. Зыков А. В., Юнин В. А., Захаров А. М. Использование робототехнических средств в АПК // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3 (81). С. 8-11.
4. Карпенко М., Пелевин Л. Е., Богдвичус М. Перспектива использования гидравлического энергосберегающего привода // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 3 (41). С. 7-12.
5. Оценка комбинированных машин с грузоподъемными устройствами / Р. Л. Сахапов, М. М. Махмутов, М. М. Земдыханов, М. М. Махмутов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. № 1-2. С. 282-287.
6. 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.
7. Синтез алгоритма управления приводами манипулятора параллельно-последовательной структуры мобильного робота-пропольщика / А. Г. Иванов, Н. С. Воробьева, В. В. Жога, В. Е. Павловский, Е. В. Павловский // Известия Нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 449-459.
8. Строганов Ю. Н., Давыдова В. В., Летнев К. Ю. Повышение безопасности погрузочно-разгрузочных работ при транспортировке картофеля и овощей с использованием мягких контейнеров // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2019. № 5 (5). С. 67-77.
9. 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.
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. V. 245.
11. Nesmianov I. A., Nikolaev M. E., Sharipov R. V. Justification of parameters of the executive drive of a robotic manipulator of a loading and transport unit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 659 (1).
12. 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. V. 747 (1).
13. Programmable movement synthesis for the mobile robot with the orthogonal walking drivers / V. Zhoga, V. Skakunov, I. Shamanov, A. Gavrilo // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2016. P. 135-147.
14. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers / V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov, V. A. Belikov // International Review of Mechanical Engineering. 2017. V. 11. № 5. P. 337-342.
15. Zaharov E. N., I.A. Nesmianov I. A., Nikolaev M. E. Manipulator-tripod on mounted parallelogram mechanism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 012062.

Conclusions. The design of the manipulation mechanism has been developed and manufactured, on the basis of which an experimental loading and transport unit has been assembled. The developed manipulation mechanism can be installed on the self-propelled chassis "Agromash" SH-50 or VZT-30SSH. The obtained actual trajectories of the loader's grip movement confirm the theoretically justified inclusions and allow for the movement of cargo and its positioning throughout the entire volume of the body. As a result of experimental studies, energy-efficient trajectories of loading a bag of vegetables in the longitudinal plane of the unit were obtained.

Reference

1. Dyashkin-Titov V. V., Pavlovsky V. E. The problem of optimal control of the movement of the tripod manipulator grip // News of the Nizhnevolzhsky agroengineering complex: science and higher professional education. 2014. № 4 (36). Pp. 241-247.
2. The problem of positioning a manipulator of a parallel-sequential structure with a controlled gripper device / V. V. Zhoga, V. V. Dyashkin-Titov, I. A. Nesmianov, N. S. Vorobyova // Mechatronics, automation, control. 2016. Vol. 17. No. 8. P. 525-530.
3. Zykov A. V., Yunin V. A., Zakharov A. M. The use of robotics in agriculture // International Scientific Research Journal. 2019. № 3 (81). Pp. 8-11.
4. Karpenko M., Pelevin L. E., Bogdevicius M. The prospect of using a hydraulic energy-saving drive // Technical and technological problems of service. 2017. № 3 (41). Pp. 7-12.
5. Evaluation of combined machines with lifting devices / R. L. Sakhapov, M. Makhmutov, M. Zemlyanov, M. Makhmutov // proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences. 2017. Vol. 19. No. 1-2. P. 282-287.
6. Development of work on the creation of agricultural robotics / Z. A. Gojaev, A. P. Grishin, I. A. Pehalsky, A. A. Grishin, V. A. Grishin // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2016. No. 119. P. 488-502.
7. Synthesis of the algorithm for controlling the drives of the manipulator of the parallel-sequential structure of the mobile weeding robot / A. G. Ivanov, N. S. Vorobyova, V. V. Zhoga, V. E. Pavlovsky, E. V. Pavlovsky // News of the Nizhnevolzhsky agroengineering complex: science and higher professional education. 2020. № 4 (60). Pp. 449-459.
8. Stroganov Yu. N., Davydov V. V., Letnev K. Y. Improving the safety of loading and unloading during transportation of potatoes and vegetables with soft containers // Scientific and technical journal: the Technical system in agriculture. 2019. № 5 (5). P. 67-77.
9. Yukhimets D. A., Gubinkov A. S., Zuev A. V. Method of forming spatial trajectories of a mobile robot in an unknown environment // Robotics and technical cybernetics. 2018. № 2 (19). P. 46-51.
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. V. 245.
11. Nesmianov I. A., Nikolaev M. E., Sharipov R. V. Justification of parameters of the executive drive of a robotic manipulator of a loading and transport unit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 659 (1).
12. 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. V. 747 (1).
13. Programmable movement synthesis for the mobile robot with the orthogonal walking drivers / V. Zhoga, V. Skakunov, I. Shamanov, A. Gavrillov // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2016. P. 135-147.
14. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers / V. V. Zhoga, V. N. Skakunov, S. E. Terekhov, V. A. Belikov // International Review of Mechanical Engineering. 2017. V. 11. № 5. P. 337-342.
15. Zaharov E. N., I.A. Nesmianov I. A., Nikolaev M. E. Manipulator-tripod on mounted parallelogram mechanism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 012062.

Author's Information

Nesmiyanov Ivan Alekseevich, Vice-Rector for Academic Affairs, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, of the Volgograd State Agrarian University (26 Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400002), tel. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

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 авторах

Несмиянов Иван Алексеевич, проректор по учебной работе, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, г. Волгоград, Университетский проспект, 26), тел. +7 (8442) 41-18-49. E-mail: ivan_nesmiyanov@mail.ru

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

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37

COMPUTER MODELING AND PARAMETERIZATION IN MathCad ENVIRONMENT OF HUMIDIFICATION CONTOURS DURING DRIP IRRIGATION

A. F. Rogachev, E.V. Melikhova

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Received 09.09.2021

Submitted 08.11.2021

Summary

Theoretical approaches and software implementation of parameterization of humidification contours in drip irrigation, based on computer modeling methods in MathCad environment, are considered. MathCad worksheets implementing numerical calculations on the example of experimental data are presented.

Abstract

Introduction. The variety and anisotropy of the agrophysical characteristics of the soil, including the dependence of water diffusion parameters on soil moisture, as well as the significant influence of the composition and characteristics of the soil complicate the analytical description of the hydrophysical processes of moisture transfer during drip irrigation, which determine the evolution of the moisture field. Therefore, the problems of analytical description of humidification areas based on the results of experimental studies remain relevant. **Materials and methods.** The aim of the study is to obtain an approximating analytical dependence for a reliable description of the humidity values experimentally determined at characteristic points of the humidification area. The well-known methods of graphic and analytic construction of humidification applets and their classification by the configuration of the humidification field were supplemented by computer modeling and parameterization in MathCad using the built-in *Minimize* (f, a, b, zc) function. Two- and three-parameter descriptions of the humidification field configuration were investigated. **Results and conclusions.** The analysis made it possible to formulate the theoretical prerequisites for the modified classification of humidification contours and to substantiate the basic model in the form of a truncated ellipsoid of rotation. The relationship between the eccentricity of the ellipse and the elongation coefficient of its shape is established. A method of parametrization of an ellipse based on its canonical equation in the environment of mathematical computer modeling is proposed. The estimation of the error of this approach based on experimental data was carried out and the parameters of the developed technical solution «Method of cultivation of root crops with combined irrigation and a device for its implementation» (patent of the Russian Federation No. 2643730) were evaluated. This made it possible to determine the design parameters and optimize the placement of drippers and sprinklers of fine sprinkling. A modified classification of humidification contours in drip irrigation is proposed by the magnitude of the eccentricity of elliptical generators and the dependence of the elongation coefficient of the contour generator on the values of the ellipse eccentricity is constructed. A method of computer modeling of humidification contours in the vertical plane for various irrigation methods, including combined with a combination of drip and fine-dispersed, is proposed. A method has been developed to substantiate the optimized geometry of the location of irrigation droppers, providing overlap of the humidification contours.