УДК 621.869

DOI 10.35211/1990-5297-2020-9-244-65-68

*И. А. Несмиянов, М. Е. Николаев, Н. С. Воробьева***ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯТОРА
ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА*****Волгоградский государственный аграрный университет**

Ivan_nesmiyanov@mail.ru

Разработан манипулятор параллельно-последовательной структуры для погрузочно-транспортного робота. Обоснованы параметры исполнительного привода стрелы манипулятора, получена зона обслуживания клещевого захвата. Изготовлен экспериментальный образец манипулятора.

Ключевые слова: погрузочный манипулятор, упаковка с овощами, зона обслуживания, электроцилиндр, погрузочный робот.

*I. A. Nesmiyanov, M. E. Nikolaev, N. S. Vorobyova***JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE LOADING
AND TRANSPORT ROBOT MANIPULATOR****Volgograd State Agrarian University**

A parallel-serial structure manipulator was developed for a loading and transport robot. The parameters of the executive drive of the boom of the manipulator are grounded, tick-borne capture service area obtained. An experimental model of the manipulator was made.

Keywords: loading manipulator, packaging with vegetables, service area, electric cylinder, loading robot.

В агропромышленном производстве большой объем штучных грузов представляют собой мешки, ящики, мягкие пакеты и сетки с упакованными в них овощной продукцией массой от 20 до 80 кг. Например, уборка лука, моркови, а иногда и картофеля, чаще всего производится затариванием их в сетки непосредственно на поле с последующей погрузкой на транспортные средства и доставкой до места реализации. В технологическом процессе уборки урожая – это одна из самых трудозатратных операций [1, 2, 3].

Для решения проблем механизации и автоматизации погрузочно-транспортных операций при сборе сеток с овощами непосредственно с поля разработана конструкция манипулятора погрузочно-транспортного роботизированного агрегата. Предлагаемый робот-погрузчик позволяет загружать в кузов сетки с овощами, находящиеся на поле и осуществлять транспортировку до места выгрузки. В качестве базы используется колесное шасси ВТЗ-30СШ (рис. 1).

Для разрабатываемого манипулятора в первую очередь обоснована степень подвижности захвата сеток с овощами. Захват погрузочного манипулятора имеет возможность перемещаться относительно кузова самоходного шасси по трем координатам x, y, z с целью позициони-

рования сетки по площади кузова, а также имеет дополнительную подвижность, ориентирующую его в пространстве. Для обеспечения маневренности в базовой плоскости количество обобщенных координат манипулятора превышает количество ориентирующих координат захвата [4, 5, 6, 7].

Рис. 1. Рабочая зона захвата погрузочного робота с манипулятором параллельно-последовательной структуры

Основной задачей проектирования привода поворота стрелы является определение рациональных мест точек крепления исполнительных цилиндров, обеспечивающих необходимую зону

действия (угол поворота стрелы), и минимальных размеров приводного механизма с учетом максимального хода штока [8, 9].

Для обоснования параметров исполнительных цилиндров привода стрелы параллелограммного механизма рассмотрим расчетную схему (рис. 2), приняв следующие условные обозначения $AB=r$ – радиус кривошипа; $AO=h$ – межосевое расстояние; $OB=l$ – текущая длина исполнительного цилиндра. Причем l является величиной переменной и меняется в пределах $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$.

Рис. 2. К определению рациональных параметров исполнительного привода стрелы

Для определения геометрических параметров h и r необходимо решить задачу поиска решений учитывая типоразмерный ряд хода штока электроцилиндра (0,4; 0,63 и т. д). На основании теоремы косинусов и учитывая, что угол φ принадлежит диапазону $0,5 \leq \varphi \leq 2,7$ и задан из условия обеспечения требуемой зоны обслуживания, получим выражение

$$\begin{cases} l_{\min}^2 = r^2 + h^2 - 2 \cdot h \cdot r \cdot \cos(\pi - \varphi_{\max}) \\ l_{\max}^2 = r^2 + h^2 - 2 \cdot h \cdot r \cdot \cos(\pi - \varphi_{\min}) \end{cases} \quad (1)$$

Используя уравнения проекции векторного контура $\vec{h} + \vec{r} = \vec{l}$ на оси координат и тригонометрические зависимости, после ряда преобразований получим выражения для определения параметров r (2) и h (3)

$$h = \frac{\sqrt{c_1 + c_2} + \sqrt{c_2 - c_1}}{2}, \quad (2)$$

$$r = \frac{\sqrt{c_1 + c_2} - \sqrt{c_2 - c_1}}{2}, \quad (3)$$

где

$$c_1 = \frac{l_{\max}^2 - l_{\min}^2}{\cos \alpha_{\min} - \cos \alpha_{\max}};$$

$$c_2 = \frac{l_{\max}^2 \cdot \cos \alpha_{\min} - l_{\min}^2 \cdot \cos \alpha_{\max}}{\cos \alpha_{\min} - \cos \alpha_{\max}};$$

$l_{\max}$ и $l_{\min}$ – максимальное и минимальное удлинение исполнительного цилиндра.

По полученным зависимостям (2) и (3), частично задаваясь некоторыми начальными параметрами, можно подобрать рациональные точки крепления цилиндра в зависимости от его удлинения. Например, для указанных уже выше значений максимального и минимального удлинения исполнительного цилиндра для заданного максимального угла поворота в 90° получены $r = 159,4$ мм и $h = 505,6$ мм.

С другой стороны, при синтезе геометрических параметров механизма погрузочного манипулятора необходим критерий минимизации нагрузок на исполнительные приводы.

Минимизация максимального значения силы $P_{\max}$, развиваемой приводом при различных положениях выходного звена, обеспечивает снижения стоимости привода, которая составляет как правило, значительную часть стоимости манипулятора [9].

Из уравнения моментов сил относительно точки A (рис. 2) с учетом силы, приведенной к рычагам поворотного параллелограммного механизма, получена зависимость усилия на штоке электроцилиндра от угла поворота $P(\varphi)$

$$P(\varphi) = \frac{mgL \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \varphi)}{r \cdot \sin(\varphi - \varphi_1)} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Выражение (4) может служить в качестве проверочного по максимально развиваемому усилию электроцилиндром, либо при минимизации $P(\varphi)$ могут быть скорректированы значения r и h . Так, например, по полученной зависимости (4) для $r = 159,4$ мм изменение усилия на штоке электроцилиндра при приведенной массе мешка в 30 кг составит от -1586 Н до 4135 Н при диапазонах изменения угла $\varphi = 45 \dots 120^\circ$ (рис. 3). Полученные решения позволяют использовать для привода два параллельно соединенных электроцилиндра SKF с развиваемым усилием 2300 Н.

Рис. 3. Зависимость усилия на штоке электроцилиндра от угла поворота φ и радиуса кривошипа r

Работоспособность проектируемых рычажных механизмов оценивается по критериям качества передачи движения и сил. Для оценки качества передачи при определении обобщенных критериев качества передачи движения K для нашего случая (рис. 4)

$$K = \frac{P_{\text{дв}} \cdot r}{M \cos \beta}, \quad (5)$$

где β – угол давления в шарнире B .

Рис. 4. К определению критериев качества передачи сил и движения

Благоприятным условием передачи движения и сил в механизме будет

$$K \leq [K],$$

где $[K] = 1,5 \dots 3,0$ – предельно допустимые значения критерия.

Так как критерий K зависит от угла давления, то определим интервалы его изменения

$$\begin{cases} \beta = \frac{\pi}{2} - \gamma, & \text{при } \gamma > \frac{\pi}{2} \\ \beta = 0, & \text{при } \gamma = 0 \\ \beta = \gamma - \frac{\pi}{2}, & \text{при } \gamma < \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad (6)$$

Как показывают расчеты $K \leq 2$, т. е. не превышает предельных значений.

С учетом определенных параметров собрана конструкция манипулятора (рис. 5), которая состоит из рамы 1, устанавливаемой на лонжероны самоходного колесного шасси, сменного кузова 2. К раме шарнирно крепятся коромысла 3

Рис. 5. Внешний вид манипулятора параллельно-последовательной структуры для погрузочно-транспортного робота

параллелограммного механизма, с другой стороны которых шарнирно установлена платформа 4. Коромысла 3 и платформа 4 представляют собой основную несущую стрелу манипулятора. К платформе 4 крепятся электроцилиндры 5, концы которых соединены в универсальном шарнире 6. Электроцилиндры 4 установлены таким образом, что представляют собой механизм параллельной структуры в виде трипода. Наконеч к универсальному шарниру 6 крепится управляемый клещевой захват 7 для сеток с овощами 8.

Разработанный манипулятор параллельно-последовательной структуры может устанавливаться на самоходное шасси «Агромаш» СШ-50 или ВЗТ-30СШ. Полученная рабочая зона захвата манипулятора робота-погрузчика обеспечивает полное покрытие всей площади кузова по ширине шасси.

Для управления исполнительными приводами манипулятора разработана система управления, позволяющая реализовывать заданные программные законы движения. Манипулятор снабжен системой технического зрения для распознавания координат сеток с овощами относительно системы координат, связанной непосредственно с кузовом шасси [9, 10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие работ по созданию робототехники сельскохозяйственного назначения / 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.
2. Тенденции развития средств мехатроники, авто-

матизации 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.

3. Design and control of a heavy material handling manipulator for agricultural robots / Satoru Sakai, Michihisa Iida, Koichi Osuka, Mikio Umeda // Auton Robot. – 2008. – Pp. 189–204.

4. Перспективы использования электроцилиндров в погрузчиках // И. А. Несмиянов, М. Е. Николаев, Е. Н. Захаров, Н. В. Карева // Сельский механизатор. – 2019. – № 7. – С. 28–29.

5. Пат. № 2018136528 РФ, МПК51 В66С 23/44. Робот-манипулятор / И. А. Несмиянов, М. Е. Николаев, Н. С. Воробьева, А. В. Дяшкин, В. В. Дяшкин-Титов, А. Г. Иванов ; опублик. 2019.

6. Николаев, М. Е. Обоснование структуры манипулятора мобильного погрузчика сеток с овощами / М. Е. Николаев, И. А. Несмиянов, С. Д. Фомин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 2 (54). – С. 389–397.

7. Обоснование параметров механизмов перемещения контейнеров на погрузочно-транспортном агрегате / М. Н. Шапоров, И. С. Мартынов, М. А. Садовников, А. В. Седов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. – 2019. – № 1 (53). – С. 299–306.

8. К определению зоны обслуживания мобильного манипулятора-трипода / В. М. Герасун, В. В. Жога, И. А. Несмиянов, Н. С. Воробьева, В. В. Дяшкин-Титов // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – № 3. – С. 2–8.

9. 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.

10. 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.