

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ СБОРА С ПОЛЯ СЕТОК С ОВОЩАМИ

Несмиянов И.А., Николаев М.Е., Воробьева Н.С.

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Для механизации погрузочно-транспортных работ при уборке овощей, упакованных в сетки, предложена конструкция погрузочного манипулятора на мобильном шасси. Обосновано необходимое количество степеней свободы захвата для качественного обеспечения технологического процесса. С целью использования погрузочного манипулятора в качестве автономного робота определены особенности управления захватом предлагаемого манипулятора на мобильном самоходном шасси.

Ключевые слова. Погрузочный манипулятор, упаковка с овощами, погрузочный робот.

ROBOTIC LOADING AND TRANSPORT UNIT FOR PICKING UP VEGETABLE NETS FROM THE FIELD

Nesmiyanov I.A., Nikolaev M.E., Vorobyova N.S.

Volgograd state agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. For the mechanization of loading and transport work when harvesting vegetables packed in nets, the design of the loading manipulator on the mobile chassis is proposed. The required number of degrees of freedom of capture for the quality assurance of the process is substantiated. In order to use the loading manipulator as an autonomous robot, the features of controlling the capture of the proposed manipulator on a mobile self-propelled chassis are defined.

Keywords. Loading manipulator, packaging with vegetables, loading robot.

Доля ручного труда в сельском хозяйстве при уборке овощей по официальным источникам составляет до 40%, а на самом деле значительно больше. Это обстоятельство является основным движущим фактором при разработке погрузочных сельскохозяйственных роботов. Принципы и технические проблемы проектирования и расчета конструкций сельскохозяйственных манипуляционных роботов еще до конца не сформированы, не получили достаточного теоретического обоснования. Это объясняется наличием агротехнических требований под каждую возделываемую культуру и технологическую операцию, недетерминированной внешней средой и часто возникающими прочими неопределенностями [1, 2, 3, 4, 5].

Например, уборка лука-репки в подавляющем большинстве производится по отдельной технологии: выкапывание – сушка - подбор. Для сбора лука используется чаще всего сетки, погрузка сеток на транспортные средства осуществляется вручную, в такой таре он и реализуется.

Анализ работ по механизации и автоматизации уборки затаренных в сетки овощей показывает, что чаще всего на погрузочных работах применяются погрузчики непрерывного действия, трудно адаптируемые под процессы автоматизации погрузочно-разгрузочных работ.

Поэтому с целью совершенствования технологии погрузочно-транспортных работ при уборке лука-репки, затаренного в сетки, была поставлена задача разработки погрузочно-транспортного роботизированного средства. А именно, разработка концептуальной модели самоходного средства с роботом-манипулятором, обеспечивающим заданную подвижность захвата, обоснование его структуры, геометрических параметров и кинематических характеристик, таких как маневренность и зона действия захвата. Важным является и выбор исполнительных приводов, так как в дальнейшем от этого зависят методы формирования управляющих программных движений захвата робота-манипулятора и алгоритмы, их реализующие [5, 6].

В качестве базы принято самоходное шасси ВТЗ-30СШ со всем его штатным оборудованием. Конструкция погрузчика выполнена навесной и монтируется на лонжероны самоходного шасси (рис.1). Стрела погрузчика 1, представляет собой пространственный параллелограммный механизм, который обеспечивает при различных углах поворота стрелы горизонтальное положение платформы 2. К платформе 2 крепится манипулятор-трипод 3, а к его выходному звену 4 (универсальному шарниру)

подвешивается управляемый клещевой захват 5. Захват манипулятора имеет свободный подвес в самоустанавливающемся универсальном шарнирном узле, что позволяет всегда ориентировать захват в вертикальном положении под действием силы тяжести. Такое конструкторское решение позволяет ориентировать захват под сетки, установленные в поле вертикально. Манипулятор-трипод 3 имеет три степени подвижности точки крепления захвата 4 по трем декартовым координатам x , y , z . Дополнительная подвижность основания трипода 2 за счет поворота параллелограммного механизма 1 позволяет полностью обеспечить с запасом перемещение захвата с сетками как по всей длине, так и по ширине кузова самоходного шасси.

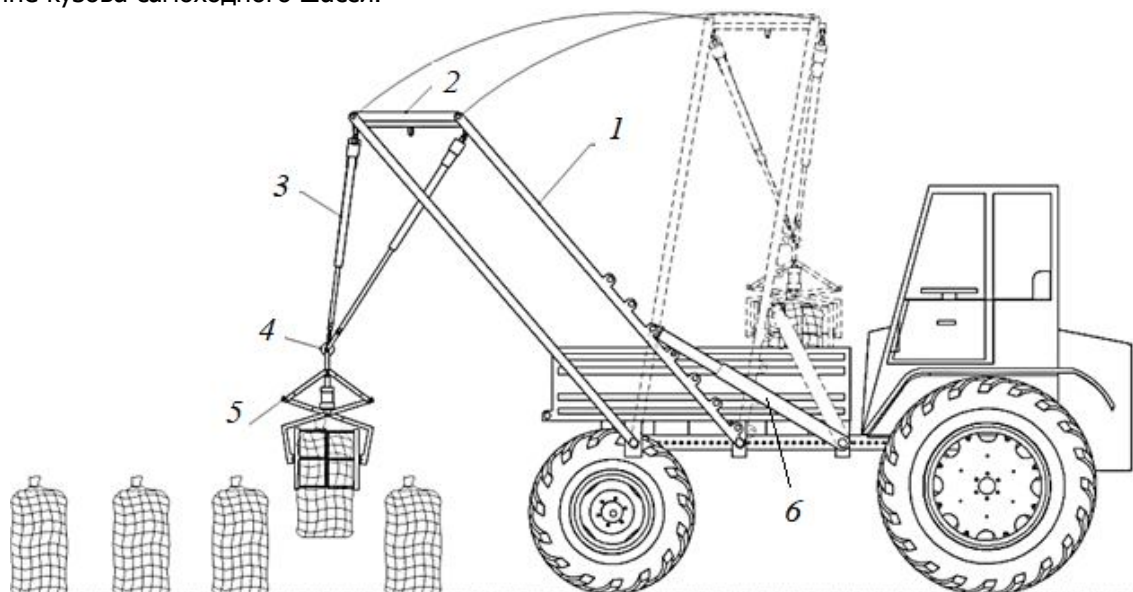


Рисунок 1 –Мобильный робот-погрузчика сеток на базе самоходного шасси

Структурный синтез механизма манипулятора был нацелен на рациональный подбор кинематический пар с минимизацией числа подвижных звеньев при заданной степени подвижности точки крепления захвата $W=4$ относительно рамы шасси [7, 8]. Особенность механизма манипулятора заключается в том, что обобщенными координатами манипулятора, являются исполнительные электроцилиндры, являющиеся с точки зрения теории механизмов и машин внутренними входами, а сам манипулятор представляет собой механизм параллельно-последовательной структуры. Исполнительными приводами поступательного действия являются три электроцилиндра манипулятора-трипода 3 и цилиндры поворота коромысел параллелограммного механизма 6. Все эти обстоятельства обуславливают применение нетрадиционных методов структурного синтеза. Методов. Из условия отсутствия лишних подвижностей и избыточных связей в манипуляторе была решена оптимизационная задача по определению количества и подвижностей кинематических пар. Решением оптимизационной задачи структурного синтеза проводилось в среде *Mathcad* и использованием функции *Minimize*. В результате получено, что в механизме манипулятора необходим один сферический шарнир в месте крепления захвата 4, а все остальные кинематические пары должны быть одноподвижными (цилиндрические шарниры). Следует отметить, что полученное решение оптимально, с точки зрения технологичности изготовления шарнирных узлов. В подобных механизмах параллельной структуры очень часто применяется большое количество сферических шарниров и шарниров Гука. В нашем же случае этого усложнения удалось избежать.

Как уже отмечалось, необходимые степени свободы захвата обуславливаются требуемыми перемещениями по площади кузова и поля. Следующим этапом решалась задача обеспечения необходимой зоны обслуживания. Для этих целей проведен кинематический анализ погрузочного робота, составлены уравнения связей в механизме параллельной структуры – трипode 4, составлены матрицы поворота переносной системы координат, связанной с основанием трипода 2 и в результате получены выражения декартовых координат точки крепления захвата 4. Алгоритм формирования зоны обслуживания захвата реализован в *Mathcad* (рис.2). Алгоритм построен на принципах вложенных циклов, внутри которых решались уравнения, описывающие изменения декартовых координат захвата от изменения обобщенных координат манипулятора (изменения текущих длин электроцилиндров).

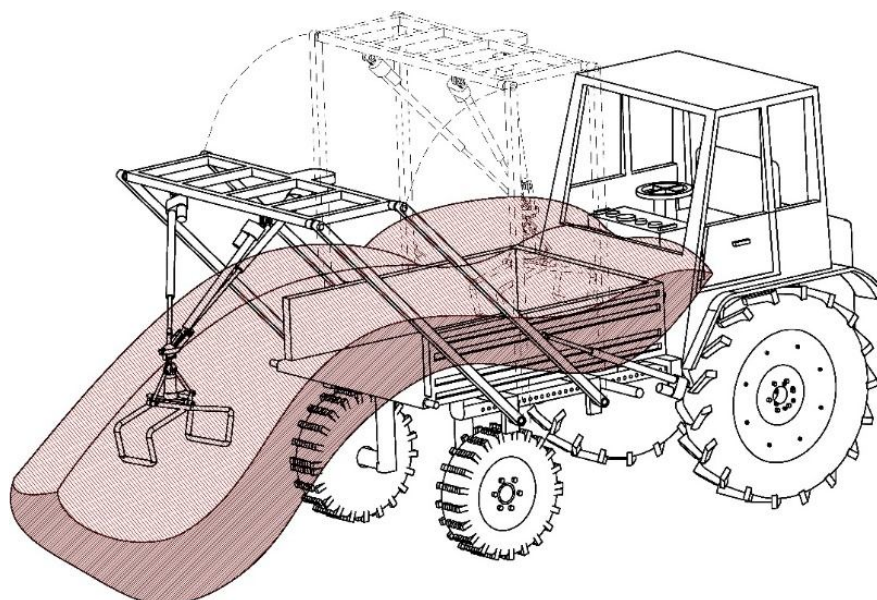


Рисунок 2. - Рабочая зона обслуживания захвата погрузочного робота с манипулятором параллельно – последовательной структуры

При формировании зоны обслуживания ограничения выступали предельные значения длин звеньев и исполнительных электроцилиндров, а также размеры кузова и самоходного шасси. Все это необходимо для обеспечения перемещения клещевого захвата по всей площади кузова и площади поля перед агрегатом, где размещаются сетки с овощами [9, 10].

Геометрические параметры механизма определены не только из условия обеспечения необходимых кинематических характеристик, но и с учетом минимизации усилий на штоках исполнительных линейных приводов – электроцилиндров. Рассчитанные размеры звеньев позволяют обеспечить ширину зоны обслуживания захвата больше ширины кузова самоходного шасси. Определена и расчетная вместимость кузова для стандартных сеток - 24 шт, что составляет около 800 кг. [10].

В качестве исполнительных электроцилиндров приняты актуаторы САНВ-21 SKF, которые обеспечивают скорость перемещения штоков до 45 мм/с при номинальном развиваемом усилии 2300 Н. Для работы этих электроцилиндров необходимо питание постоянного тока 24 В. Выбор этих электроцилиндров обоснован тем, что в них реализована потенциометрическая обратная связь по положению штока. Это обстоятельство значительно облегчает построение систем управления для реализации автоматического режима работы. Обратная связь по положению позволяет контролировать траектории перемещения груза и реализовывать необходимые программные движения.

Маневренность разработанного манипулятора в продольной плоскости агрегата равна $m=1$. С одной стороны, это позволяет манипулятору иметь дополнительные возможности реализации различных, как простых, так и сложных траекторий перемещения груза, а с другой стороны такая кинематическая избыточность механизма манипулятора приводит к бесконечному количеству решений задачи позиционирования захвата. Эта задача решалась оптимизационными методами нелинейного программирования, а в частности, методом множителей Лагранжа. Суть этой задачи заключалась в том, чтобы минимизировать при возможности движения электроцилиндров, на шок которых возникает наибольшая нагрузка. Необходимость применения таких оптимизационных методов при планировании перемещений груза является фактором использования энергоэффективных алгоритмов реализации программных управляющих усилий в исполнительных приводах [11].

При погрузке сеток с овощами возможны различные траектории: прямолинейные, криволинейные, кусочно-линейные, комбинированные. Механизм манипулятора позволяет реализовать в силу кинематической избыточности все возможные траектории, однако для согласованного движения приводов необходим синтез ориентирующих программных перемещений исполнительных звеньев манипулятора. Учитывая неоднозначность решений траекторной задачи, различные режимы нагружения в зависимости от положения захвата, эта задача осуществлена совместным решением прямой задачи кинематики манипулятора параллельно-последовательной структуры и обратной задачи определения текущих длин линейных приводов, по задаваемым абсолютным координатам захвата.

И наконец, синтез оптимальных законов перемещения захвата манипулятора решается с учетом динамических свойств электроцилиндров из условия комплексного критерия качества, являющимся в

свою очередь функцией минимизации тепловых потерь в электродвигателях постоянного тока исполнительных цилиндров [11, 12].

С точки зрения герметической оптимальности, конечно же прямой отрезок перемещения груза наиболее короткий, но иногда с точки зрения энергозатрат исполнительных приводов эффективнее перемещать по какой-либо криволинейной траектории с минимальными затратами энергии на привод. К тому же не во всех случаях прямолинейная траектория применима для перемещения грузов, часто возникают задачи обхода препятствий, которыми в нашем случае могут быть как борта кузова, так и сами сетки с овощами. Применение в случаях обхода препятствий кусочно-линейных участков траектории чаще всего даже удлиняет суммарную длину перемещения груза, при этом резкое изменение направления перемещения выходного звена вызывает возникновение инерционных нагрузок на перемещаемый груз и манипулятор в целом. Все это говорит о том, что выбор траектории перемещения груза немаловажная задача как с позиции повышения производительности погрузочно-разгрузочных работ, так и с позиции энергоэффективности.

Разработанная система управления позволяет в режиме реального времени осуществлять выбор траектории в зависимости от сигналов системы технического зрения и алгоритмически реализовывать управляющие программные движения исполнительных электроприводов по заданным законам. Разработанная система управления прошла успешную апробацию на погрузочном роботе с манипулятором-триподом [11, 12].

Основными преимуществами манипулятора с электроцилиндрами являются низкая металлоемкость и отсутствие вредного воздействия на окружающую среду за счет использования экологичного электромеханического привода. Предлагаемый сельскохозяйственный погрузочный робот с манипулятором параллельно-последовательной структуры позволит ускорить технологические процессы сельскохозяйственного производства, такие как сбор урожая, погрузочно-разгрузочные и транспортные работы, обеспечив сохранность и качество выпускаемой продукции.

Список использованных источников

1. Годжаев, З.А. Тенденции развития средств механотроники, автоматизации и роботизации для синтеза новых высокопроизводительных технологий, и машин в сельском хозяйстве [Текст] / З.А. Годжаев, В.К. Хорошенко, Н.Т. Гончаров, Е.Н. Ильченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. -2018.-№ 3 (329).- С.4-16.
2. Ананьев, А. Н. Проблемы применения роботов в сельскохозяйственном производстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cckrb.ru/news/Innovatsii-v-APK>.
3. Белов, М.И. Манипуляторы роботов в сельском хозяйстве. [Текст] / М.И. Белов, Ю.А. Судник, С.В. Сорокин // *Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: матер. Междунар. науч. практ. конф. 10–12 ноября 2014 года.* – Мичуринск: Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2014. С.60-68.
4. Завражнов, А.И. Разработка робота-манипулятора для проведения 3D контурной обрезки плодовых деревьев. [Текст] / А.И. Завражнов, А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев, А.А. Земляной // *Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: матер. Междунар. науч. практ. конф. 10–12 ноября 2014 года.* – Мичуринск: Изд-во Мичуринского госагроуниверситета, 2014. С.304-312.
5. Герасун, В.М. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования [Текст] / 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.
6. Шапров, М.Н. Обоснование параметров механизмов перемещения контейнеров на погрузочно-транспортном агрегате [Текст] / 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.
7. Глазунов В.А., Колисков А.Ш. Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. [Текст] М.: Наука, 1991. 95 с.
8. Семенов, Ю.А. Структурный анализ механизмов [Текст] / Ю.А. Семенов, Н.С. Семенова // *Теория механизмов и машин*. - 2003. - Т. 1. - № 2 (2). - С. 3-14.
9. Жога, В. В. Задача позиционирования манипулятора параллельно-последовательной структуры с управляемым захватным устройством [Текст] / В. В. Жога, В. В. Дяшкин-Титов, И. А. Несмиянов, Н.С. Воробьева // *Мехатроника, Автоматизация, управление*. 2016. - Т. 17. - С. 525-530.
10. Николаев, М.Е. Обоснование структуры манипулятора мобильного погрузчика сеток с овощами [Текст] / М.Е. Николаев, И.А. Несмиянов, С.Д. Фомин // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. - 2019. - № 2 (54). - С. 389-397.
11. Algorithm to synthesize control force for tripod manipulator drives / Zhoga V., Dyashkin-Titov V., Nesmiyanov I., Dyashkin A. // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2020. Т. 154. С. 223-235.

12. The architecture of the control system for the mobile process robot with walking movers Zhoga V.V., Skakunov V.N., Terekhov S.E., Belikov V.A. International Review of Mechanical Engineering. 2017. Т. 11. № 5. С.337-342.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-38-90067 Аспиранты и №19-48-340013 р_а.