



Исследование условий съема ягод земляники садовой роботизированными машинами

Дмитрий Олегович Хорт¹,
кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник;
Николай Александрович Майстренко²,
кандидат технических наук, доцент;

Андрей Николаевич Терешин¹,
аспирант, e-mail: tan12393@mail.ru;
Роман Владимирович Вершинин¹,
магистр

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Описали новое устройство для роботизированного сбора урожая земляники садовой. Оно отличается универсальностью, простотой конструкции, удобством адаптации с автоматизированной платформой. (*Цель исследования*) Изучить условия для съема ягод земляники садовой роботизированными машинами, разработать способ съема ягод и обосновать параметры рабочего органа для роботизированной уборки с учетом механического воздействия на ягоду и степени ее повреждения. (*Материалы и методы*) Подготовили экспериментальную методику исследования физико-механических свойств ягод земляники садовой и рассчитали критическую скорость удара ягоды при сборе рабочим органом. Для обоснования эффективности рабочего органа провели комплексный анализ физико-механических параметров ягод. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что плотность ягоды земляники садовой в значительной степени зависит от условий возделывания, сорта и размера ягоды. Выявили, что удельная плотность различных частей ягоды находится в диапазоне 0,0094-0,0262 килограмм-силы на квадратный метр. Выявили, что наибольшей прочностью обладает кожица ягод сортов Зенга-Зенгана и Редкоут, а наименьшей – Фестивальная. Показали, что основание и вершина ягоды примерно в 1,2 раза прочнее кожицы остальной ее части. Подтвердили, что оболочка ягоды обладает свойством упругости. Определили, что в процессе сжатия ягоды ее деформация пропорциональна нагрузке. Предложили конструкцию роботизированной движущейся платформы. Закрепили срезающий рабочий орган на манипуляторе. Обеспечили съем ягоды путем среза плодоножки с наименьшими повреждениями. (*Выводы*) Предложили устройство для роботизированного сбора ягод земляники садовой, которое выгодно отличается от аналогов тем, что дает возможность существенно снизить механическое воздействие на целевой объект, сохранить внешний вид и качественные характеристики ягоды.

Ключевые слова: роботизированное устройство, рабочий орган, сбор ягод земляники садовой, манипулятор.

■ **Для цитирования:** Хорт Д.О., Майстренко Н.А., Терешин А.Н., Вершинин Р.В. Исследование способов съема ягод земляники садовой роботизированными машинами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №1. С. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-27-33.

Studying the Methods of Harvesting Garden Strawberry with Robotic Machines

Dmitriy O. Khort¹,
Ph.D.(Agr.), key research engineer;
Nikolay A. Maystrenko²,
Ph.D.(Eng.), associate professor;

Andrey N. Tereshin,
postgraduate student;
Roman V. Vershinin,
MSc student

¹Federal Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia Federation;

²Russian state agrarian University – Moscow Timiryazev agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper presents a description of a newly developed device for the robotic harvesting of garden strawberry. The device features versatility, the simplicity of design, ease of adaptation to an automated platform. (*Research purpose*) To study the conditions for harvesting garden strawberry with robotic machines, develop a method for picking berries and determine the parameters of the working element for robotic harvesting, taking into account the mechanical impact on berries and the degree of the berry damage. (*Materials and methods*) The authors prepared an experimental methodology of studying the physical-and-mechanical properties of garden strawberry and calculated the critical speed of the impact of berries when picked by the working element. To prove the

effectiveness of the working element operation, a comprehensive analysis of the physical-and-mechanical parameters of berries was carried out. (*Results and discussion*) The study has shown that the strength of garden strawberry is largely dependent on such major factors as cultivation conditions, as well as the variety and size of berries. It has been found that the specific strength of various parts of berries ranges from 0.0094 to 0.0262 kilogram-force per square meter. The skin of the Zenga-Zengana and Rarekot varieties has proved to possess the greatest strength, while that of the Festivalnaya variety - the smallest one. The authors have shown that the base and the tops of berries are about 1.2 times stronger than the skin of their rest part. It has been found that the berry shell has the property of elasticity. When berries are squeezed, their deformation is proportional to the load applied. The authors have proposed a design of a moving robotic platform with a cutting working element mounted on a manipulator. As a result, berry removal can be implemented by cutting the stem with the least damage. (*Conclusions*) The authors have proposed a device for the robotic harvesting of garden strawberry, which is distinguished among its counterparts by its ability to significantly reduce the mechanical impact on the target object, as well as preserve the appearance and quality characteristics of berries.

Keyword: robotic harvesting of garden strawberry, working element, garden strawberry, actuator.

For citation: Khort D.O., Maystrenko N.A., Tereshin A.N., Vershinin R.V. Issledovanie usloviy syema yagod zemlyaniki sadovoy robotizirovannymi mashinami [Studying the methods of harvesting garden strawberry with robotic machines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 27-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-27-33.

В настоящее время есть все предпосылки для создания и широкого распространения роботизированных технических средств в растениеводстве, в том числе в садоводстве: модули компьютерного зрения, программное обеспечение для обработки получаемой информации, широкая номенклатура приборов и оборудования для оснащения мобильной техники, с учетом требований технологий производства продукции. Однако основная трудность, с которой сталкиваются разработчики роботов для сельского хозяйства, – это определение оптимальных параметров рабочих органов и наделение машины искусственным интеллектом для реализации технологического процесса.

Это особенно важно для роботизации уборочных процессов, так как мехатронная система работает в условиях множества неопределенностей, а решаемые задачи должны быть быстро и четко выполнены. Например, рабочий орган робота для сбора земляники садовой должен из множества ягод выбрать наиболее созревшую и деликатно выполнить ее сьем в кратчайшее время.

Цель исследования – изучить условия для съема ягод земляники садовой роботизированными машинами, разработать способ съема ягод и обосновать параметры рабочего органа для роботизированной уборки с учетом механического воздействия на ягоду и степени ее повреждения.

Материалы и методы. Для достижения поставленной задачи предложили конструкцию рабочего органа, учитывающую физико-механические свойства и особенности ягод земляники садовой. При этом акцентировали внимание на ее универсальности, простоте и удобстве адаптации к роботизированным платформам.

Провели аналитическое исследование существующих автоматизированных устройств для сбора земляники [1, 2]. При разработке рабочего органа робо-

тизированной платформы для машинного сбора земляники учли конструктивные технические решения устройства, которым оснащена зарубежная автоматизированная платформа компании *Octinion* [3].

Она включает следующие элементы: автоматизированную платформу, системы управления, питания, и технического зрения. Система технического зрения способна распознавать цвет ягоды по спектральному анализу ее поверхности. Принцип сбора заключается в отрыве ягоды от плодоножки.

К недостаткам платформы *Octinion* относятся сложность конструкции, низкое качество съема ягоды, адаптация рабочего органа только для сбора свисающих ягод, а также повреждение плодоножки ягоды при ее отрыве.

Исследуя физико-механические свойства ягод сортов Фестивальная, Зенга-Занга и Редкоут, выделили три фракции в зависимости от диаметра и длины зрелой ягоды: крупная – более 28 мм, средняя – 24-28 мм и мелкая – менее 24 мм (*рис. 1*) [4, 5]. Опыты проводили с 15-кратной повторностью.



Рис. 1. Измерение ягод земляники садовой

Fig. 1. Measuring strawberries

Прочностные характеристики ягод отражают их способность сопротивляться разрушению при воздействии на них рабочими органами. В результате определили удельную прочность основных составляющих ягоды: кожицы, мякоти и сердцевины [6].



Для определения прочностных характеристик заменяли зонд и точные весы, которые позволяют регистрировать усилие и деформацию ягоды в процессе ее прокалывания (рис. 2). Удельную прочность ягоды в оболочке определяли как отношение общего усилия к площади зонда (0,0125 м²).

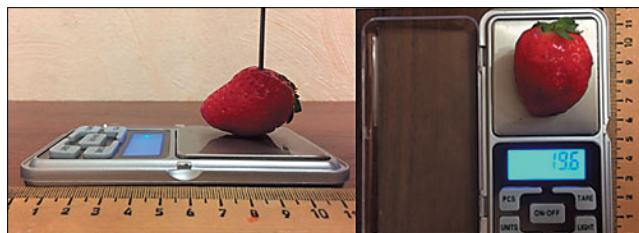


Рис. 2. Экспериментальное измерение удельной прочности оболочки ягод земляники

Fig. 2. Experimental measuring of the specific strength of strawberry shells

Выявили, что удельная прочность различных частей ягоды исследуемых сортов находится в диапазоне 9,4-26,2 г/мм² (табл. 1).

Фракции ягод Fraction of berries	Часть ягоды Component of a berry	Сорта / Varieties		
		Зенга Зенгана Zenga Zengana	Редкоут Redcout	Фестивальная Festivalnaya
Крупная (>28 мм) Large (> 28 mm)	кожица peel	12,4	12,6	11,3
	мякоть pulp	9,6	11,9	10,2
	сердцевина core	18,9	10,2	27,8
Средняя (24-28 мм) Average (24-28 mm)	кожица peel	13,1	14,7	10,6
	мякоть pulp	9,9	13,7	9,4
	сердцевина core	25,5	25,0	23,0
Мелкая (< 24 мм) Small (<24 mm)	кожица peel	12,3	14,4	10,7
	мякоть pulp	10,1	13,3	9,5
	сердцевина core	26,2	24,6	23,2

Результаты и обсуждение. Прочность ягоды земляники садовой в значительной степени зависит от условий ее возделывания, сорта и размера.

Кожица ягод сортов Зенга-Зенгана и Редкоут прочнее, чем у Фестивальной. Прочность оснований и вершин ягоды примерно в 1,2 раза больше, чем кожицы. В зависимости от фракций этот показатель отличается незначительно [7, 8].

В процессе исследований установили, что вся оболочка ягоды обладает свойством упругости [9]. При сжатии ягоды справедливо соотношение деформации и нагрузки, подчиняющееся закону Гука. Остаточные деформации в процессе прокалывания ягоды зондом площадью поперечного сечения 0,0125 м², возникают при нагрузках 110-174 г, а предельные деформации при этом составляют 0,0035-0,0065 м.

На качество механизированной уборки ягод земляники садовой и оценку ее сортов с точки зрения пригодности к машинной уборке влияет сила связи ягоды с цветоносами. В период уборки 2018 г. этот показатель определяли с помощью динамографа Д-10 при 30-кратной повторности опытов (табл. 2).

Сорта Varieties	Наибольшее largest	Наименьшее lowest	Среднее average
Фестивальная Festivalnaya	1030	412	628
Зенга Зенгана Zenga Zengana	721	309	494
Редкоут Redcout	927	412	545
Среднее арифметическое значение Arithmetic average	-	-	611

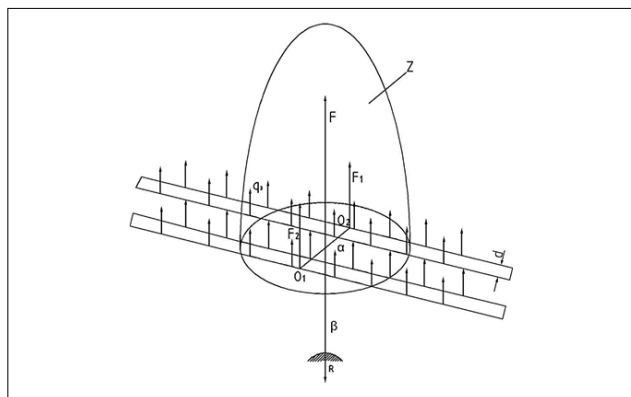
При механизированном сборе ягод происходит их трение о различные рабочие поверхности. Для определения фрикционных свойств ягод было проведено исследование с помощью наклонной плоскости в 5-кратной повторности (табл. 3).

С целью конструктивного выбора параметров и материалов рабочих органов уборочных платформ определили показатели трения листьев по отношению к поверхностям из различных материалов (табл. 4). Были выбраны различные материалы для анализа показателей сопротивления ягод и листьев.

В процессе отделения ягоды от плодоножки со стороны рабочего органа на нее действуют нагрузки, распределенные неравномерно по поверхности контакта, равнодействующие которых F_1 и F_2 сосредоточены в средних точках O_1 и O_2 отрезков, находящихся в контакте с ягодами (рис. 3). Равнодействующая сил F_1 и F_2 представляет собой силу F , равную сумме $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. Она приложена в точке a крепления ягоды к плодоножке и направлена вдоль нее в сторону

Таблица 3		ФРИКЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯГОД ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ), ГРАД. FRICTION INDICATORS OF STRAWBERRY (AVERAGE VALUES), GRAD.					Table 3
Оси наклона Axes of inclination	Фракции ягод Berry fractions	Тип материала / Type of material					
		сталь steel	брезент tarpaulin	листья leaves	прутки, покрытые ПВХ PVC coated rods		
					вдоль прутка along the rod	поперек прутка across the rod	
Большая ось Major axis	крупные large	18,5	19,2	21,7	25,0	44,4	
	средние average	25,6	18,4	19,3	22,3	55,0	
	мелкие small	19,4	14,2	23,0	21,9	55,4	
Малая ось Minor axis	крупные large	27,1	30,2	33,9	33,9	48,6	
	средние average	28,1	30,6	32,7	9,0	50,0	
	мелкие small	26,7	28,6	30,2	29,7	52,5	

Таблица 4		КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ЛИСТЬЕВ (СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ) SLIPPING FRICTION COEFFICIENT OF LEAVES (AVERAGE VALUES)		Table 4
Материалы Materials	Лист / Leaf			
	верхняя сторона upper side	нижняя сторона down side		
Сталь / Steel	0,70	0,75		
Брезент / Tarpaulin	1,98	1,81		
Пластмасса / Plastic	0,58	0,59		
Резина / Rubber	1,48	1,40		



отрыва. При отрыве ягоды возникает сила реакции R , которая также направлена вдоль плодоножки, но в противоположную сторону [10-12].

При роботизированном сборе ягод возможны несколько вариантов развития процесса: отрыв от плодоножек в точке α или разрыв цветоносов в их средней части (зона β) и в зоне крепления цветоноса с рожком, а также смятие ягод без их отрыва. Отрыв ягод от плодоножек произойдет в месте наименьшей силы связи. Если для смятия ягоды требуется большее усилие, то необходимо определить числовые значения этих сил связи и усилия смятия ягод.

Для определения сил связи применяли прибор, позволяющий определять их в сочетании со скоростями отрыва, близкими к скорости сбора кустов земляники машинным способом ($V = 0,01 + 1,00$ м/с). Значение силы смятия $P_{см}$ определяют расчетным путем по удельной прочности ягод q и параметрам устройства сбора ягод.

В соответствии со схемой действия сил в процессе сбора ягод силу определяют по формуле (рис. 3):

$$F = 2qldr, \quad (1)$$

где q – удельная прочность ягоды, $м^2/с^2$;

Рис. 3. Схема действия сил на ягоду земляники садовой в процессе ее сбора: q – удельная прочность ягоды; R – сила реакции ягоды; \bar{F}_1 и \bar{F}_2 – силы нагрузки, действующие в средних точках O_1 и O_2 , находящихся в контакте с ягодами; \bar{F} – равнодействующая сил \bar{F}_1 и \bar{F}_2 ; U – ширина контакта лезвия с ягодой; α – точка крепления ягоды к плодоножке (точка отрыва плодоножки); β – средняя часть цветоносов; Z – область целевого объекта (ягоды)

Fig. 3. Diagram of the effect of forces on a berry in the process of its picking up: q – specific strength of a berry; R – reaction force of a berry; \bar{F}_1 and \bar{F}_2 – load forces acting at midpoints O_1 and O_2 contacting with berries; \bar{F} – resultant of forces \bar{F}_1 and \bar{F}_2 ; U – contact width of the blade with a berry; α – the point of attachment of a berry to its pedicel (stem) (the point of stem separation); β – middle part of peduncles; Z – target area (the berry)

l – средний участок рабочего органа, находящийся в контакте с ягодой, м;

d – диаметр рабочего органа, м;

R – сила реакции ягоды, Н.

Затем можно вычислить силу смятия ягоды $P_{см}$, Н:

$$P_{см} = \frac{2qld}{k} R, \quad (2)$$



где R – сила реакции ягоды, Н;

k – коэффициент, учитывающий вес ягоды и упругость цветоноса.

Анализ зависимости (2) показывает, что для исключения смятия ягоды необходимо стремиться к увеличению поверхности контакта ягод с рабочим органом. Для этого следует использовать рабочий орган автоматизированной платформы с большим диаметром и меньшим зазором между его лезвиями. Однако при сборе нужно соблюдать необходимые условия введения рабочего органа в куст, которыми лимитируются оптимальные конструктивные параметры устройства.

На смятие ягоды в процессе ее сбора наибольшее влияние оказывает ее удельная прочность q . Величина q дает основание оценить пригодность ягод к механизированному сбору. Более детальное изучение прочностных характеристик ягоды, которая представляет собой сложное образование, состоящее из твердой, жидкой и газообразной частей, следует проводить путем ее сквозного прокалывания (зондирования). В качестве рабочего элемента необходимо использовать иглу (зонд) диаметром 0,002-0,005 м и высокочувствительный регистрирующий прибор с записью усилий до 0,5 кг (с точностью до 0,00005±0,00010 кг). Значение удельной прочности при этом определяют из выражения:

$$q = \frac{4F_n}{\pi D^2}, \quad (3)$$

где F_n – усилие, которое фиксируется при прокалывании, кг;

D – диаметр иглы, м.

Значение удельной прочности при прокалывании ягоды получены на землянике сорта Зенга-Зенгана в стадии полной зрелости (рис. 4). Размеры ягод в направлении прокалывания были в пределах 0,002-0,024 м, скорость прокалывания – 0,01-0,02 м/с, величину удельной прочности фиксировали тензометрическим методом.

На кривой можно выделить три характерных участка (рис. 4):

- участок 1 – деформация и прокалывание оболочки ягоды 0,005-0,017 м;
- участок 2 – прохождение зонда внутри ягоды на глубине 0,017-0,020 м;
- участок 3 – выход зонда из ягоды в интервале 0,020-0,027 м.

Наибольший интерес представляет первый участок, так как именно он характеризует удельную прочность оболочки ягоды. Второй и третий участки показывают изменение прочностных характеристик внутри ягоды. На втором участке представлены также силы трения мякоти ягоды о поверхность зонда, которые вполне соизмеримы с прочностными характеристиками мякоти. Поэтому для детального исследова-

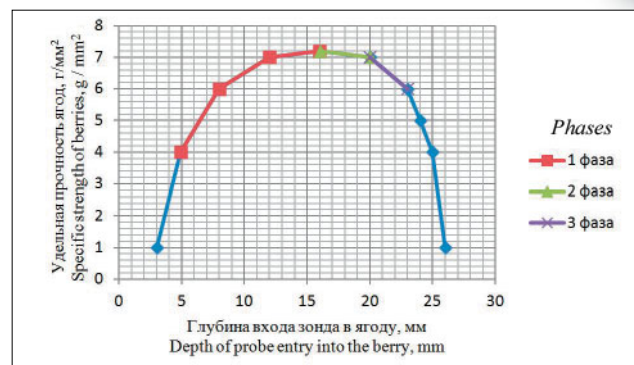


Рис. 4. Значение удельной прочности при прокалывании ягоды
Fig. 4. Values of specific strength when piercing the berries

ования внутренней части ягод следует применять зонды меньшего диаметра (до 0,002 м).

В процессе уборки ягоды попадают в рабочий орган. В момент удара они могут повреждаться. Для выбора материала внутренней части рабочего органа и оценки повреждаемости ягод каждого сорта проведено исследование по определению критической высоты падения ягод.

Рассчитать критическую скорость удара ягоды при сборе рабочим органом можно на основании статистических данных критической высоты падения ягоды на соответствующую поверхность, без учета влияния растительных элементов куста:

$$V_{кр} = \sqrt{2qh_{кр}}, \quad (4)$$

где $V_{кр}$ – критическая скорость удара ягоды при сборе рабочим органом, м/с;

$h_{кр}$ – критическая высота падения ягод, м.

В соответствии с указанной методикой провели исследование по выявлению значений критической высоты падения ягод земляники различных сортов на улавливающие поверхности из резины, мешковины, дерматина и брезента. Ягоды каждого сорта разделили по размеру и степени спелости. В результате установили, что ягоды земляники садовой исследуемых сортов в различных стадиях спелости можно улавливать без повреждения на различные поверхности с высоты падения не более 1,2 м, на металлическую поверхность для ягод весом более 0,012 кг – до 0,6 м, а весом менее 0,012 кг – до 1,2 м. При этом критические скорости движения ягод составили 3,40-4,89 м/с.

С учетом полученных результатов оценки физико-механических повреждений ягод земляники предлагается создать автоматизированную машину для сбора земляники садовой (рис. 5-7). Платформа выполнена составной. Передняя и задняя части могут поворачиваться относительно друг друга. На передней части размещены бортовой контроллер, система технического зрения, манипулятор и устройство сбора плодов, выполненное в виде двух полых коаксиальных цилиндров с резами (зубьями), на задней ча-

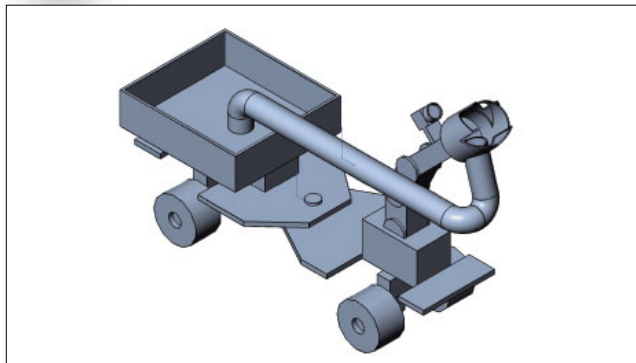


Рис. 5. Общий вид роботизированного устройства для сбора земляники садовой

Fig. 5. General view of a robotic device for harvesting garden strawberry

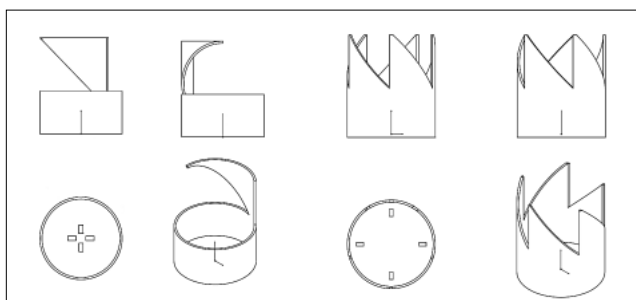


Рис. 6. Внутренний (слева) и внешний (справа) цилиндры рабочего органа

Fig. 6. The inner (left) and outer (right) cylinders of the working element

сти платформы – система питания и тара для складирования урожая. Между передней и задней частями платформы размещена система транспортировки плодов из устройства сбора в тару.

Стандартизация устройств сбора для земляники садовой имеет следующие задачи: значительно повысить производительность труда при конструировании, сократить стоимость и сроки разработки устройств сбора и их элементов, улучшить технический уровень, а также качество устройств сбора, закладывая унифицированные технические решения для оптимального синтеза конструкции [8-9].

Срезающий рабочий орган, закрепленный на манипуляторе, позволяет выполнить съем ягоды путем среза плодоножки с меньшими повреждениями, увели-

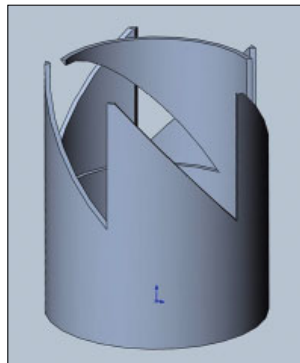


Рис. 7. Сборочный чертеж плодосъемника

Fig. 7. Assembly drawing of a working element (berry picker)



Рис. 8. Рабочий орган в процессе среза черешка листа

Fig. 8. The working element in the process of cutting the leaf stalk

чить полноту сбора ягод, а также его можно зафиксировать на мобильной автоматизированной платформе.

Рабочий орган для машинного сбора земляники садовой включает в себя два полых цилиндра (внутренний и внешний) с дном (рис. 8). Внешний цилиндр имеет множество резцов (зубьев) с ножами. При совмещении ягоды и рабочего органа плодоножка упирается в основание резцов внутреннего цилиндра. Внутренний цилиндр имеет один резец с ножом. Вращение относительно оси внешнего полого цилиндра осуществляется с помощью сервопривода и имеет угол поворота $\sim 150^\circ$. При вращении внешнего цилиндра выполняется срез плодоножки ягоды земляники.

Выводы. Результаты исследования физико-механических свойств ягод земляники садовой позволяют разработать рабочий орган для их сбора и минимизировать их повреждение при механическом воздействии в процессе роботизированной уборки урожая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bachche S., Oka K. Modeling and performance testing of end-effector for sweet pepper harvesting robot. *Robot Mechatron*. 2013. N25. 705-717.
2. Qiang L., Huazhu L., Jianrong C., Jiewen Zh., YongPing L., Fang Zh. Feature extraction of near-spherical fruit with partial occlusion for robotic harvesting. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2010. N4(3). 435-445.
3. Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Шевкун В.А. Применение

- технических средств для уборки урожая земляники садовой // *Научный вiсник НУБiП України*. Серiя: Технiка та енергетика АПК. 2018. N283. С. 60-66.
4. Утков Ю.А., Филиппов Р.А. Современные тенденции создания технических средств, улучшающих условия труда в промышленном садоводстве России // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2012. N3. С. 31-37.



5. Кашин В.И. и др. Культура земляники в Подмосковье. М.: ВСТИСП. 2003. 134 с.

6. Филиппов Р.А., Цымбал А.А., Утков Ю.А., Чухляев И.И., Мехедов М.А. Эффективность применения технических средств для уборки урожая низкорастущих ягодников // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2018. N3(39). С. 131-135.

7. Попова И.В., Цымбал А.А., Макарова А.Ф. Оценка гибридов земляники на пригодность к машинной уборке урожая // *Плодоводство и ягодоводство нечерноземной полосы*. НИЗИСНП. 1979. С. 99-113.

8. Yuanshen Zh., Liang G., Yixiang H., Chengliang L. A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. N23. 127.

9. Филиппов Р.А. Робототехнические средства для сбора ягод земляники // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. 2017. N1. С. 26-27.

10. Zhiguo L., Pingping L., Hongling Y., Yuqing W. Stability tests of two-finger tomato grasping for harvesting robots. *Biosystems Engineering*. 2013. N116. 163-170.

11. Терешин А.Н. Роботы, как средство механизации на примере автоматизированной платформы по сбору земляники садовой // *Академия педагогических идей «Новация»*. 2018. N4. С. 168-170.

12. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсивная обработка семян земляники садовой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 9-15.

REFERENCES

1. Bachche S., Oka K. Modeling and performance testing of end-effector for sweet pepper harvesting robot. *J. Robot Mechatron*. 2013. N25. 705-717 (In English).

2. Lu Qiang, Lu Huazhu, Cai Jianrong, Zhao Jiewen, Li Yongping, Zhou Fang Maejo. Feature extraction of near-spherical fruit with partial occlusion for robotic harvesting. *International Journal of Science and Technology*. 2010. N4(3). 435-445 (In English).

3. Filippov R.A., Khort D.A., Shevkun V.A. Primenenie tekhnicheskikh sredstv dlya uborki urozhaya zemlyaniki sadovoy [Use of technical means for harvesting garden strawberry]. *Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta energetika APK*. 2018. N283. 60-66 (In Russian).

4. Utkov Yu.A., Filippov R.A. Sovremennyye tendentsii sozdaniya tekhnicheskikh sredstv, uluchshayushchikh usloviya truda v promyshlennom sadovodstve Rossii [Current trends in the designing of technical tools that improve working conditions in industrial gardening in Russia]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012. N3. 31-37 (In Russian).

5. Kashin V.I. et al. Kul'tura zemlyaniki v Podmoskov'ye [Practice of strawberry growing in the Moscow region]. Moscow: VSTISP. 2003. 130 (In Russian).

6. Filippov R.A., Tsymbal A.A., Utkov Yu.A., Chukhlyaev I.I., Mekhedov M.A. Effektivnost' primeneniya tekhnicheskikh sredstv dlya uborki urozhaya nizkorastushchikh yagodnikov [Effectiveness of the use of technical means for harvesting low-growing berries]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekh-*

nologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2018. N3(39). 131-135 (In Russian).

7. Popova I.V., Tsymbal A.A., Makarova A.F. Otsenka gibridov zemlyaniki na prigodnost' k mashinnoy uborkе urozhaya [Evaluation of strawberry hybrids for suitability to machine harvesting]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo nechernozemnoy polosy*. NIZISNP. 1979. 99-113 (In Russian).

8. Yuanshen Zhao, Liang Gong, Yixiang Huang, Chengliang Liu. A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2016. N23. 127 (In English).

9. Filippov R.A. Robototekhnicheskiye sredstva dlya sbora yagod zemlyaniki [Robotic tools for picking strawberries] // *Mechatronics, automation and robotics*. 2017. N1. 26-27 (In Russian).

10. Li Z., Li P., Yang H., Wang Y. Stability tests of two-finger tomato grasping for harvesting robots. *Biosystems Engineering*. 2013. N116. 163-170 (In English).

11. Tereshin A.N. Roboty kak sredstvo mekhanizatsii na primere avtomatizirovannoy platformy po sboru zemlyaniki sadovoy [Robots as a means of mechanization as exemplified by an automated platform for harvesting garden strawberry]. *Akademiya pedagogicheskikh idey "Novatsiya"*. 2018. N4. 168-170 (In Russian).

12. Kutyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A., Tsench Yu.S. Magnitno-impul'sivnaya obrabotka semyan zemlyaniki sadovoy [Magnetic pulse treatment of strawberry seeds] *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N5. 9-15 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 18.05.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 18.05.2019

Статья принята к публикации 03.02.2020
The paper was accepted
for publication on 03.02.2020