

А. Н. Юрин

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab_plodoyagoda@mail.ru*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКТИВАТОРА УНИВЕРСАЛЬНОГО ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Аннотация. В данной статье приведен анализ теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров и режимов активаторов ягодоуборочных комбайнов, обеспечивающих наибольшую полноту уборки ягод при минимальных повреждениях насаждений.

Ключевые слова: активатор, ягодоуборочный комбайн, пальцы, полнота съема, полнота улавливания, частота колебаний, амплитуда колебаний, скорость движения, поломки ветвей.

A. N. Yurin

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab_plodoyagoda@mail.ru*

JUSTIFICATION OF THE ACTIVATOR PARAMETERS OF THE UNIVERSAL BERRY HARVESTER

Abstract. This article provides an analysis of theoretical and experimental studies to substantiate the parameters and modes of activators of berry harvesters that provide the greatest completeness of harvesting berries with minimal damage to plantings.

Keywords: activator, berry harvester, fingers, removal completeness, catching completeness, vibration frequency, vibration amplitude, movement speed, branch breakage.

Введение

Для обеспечения населения и перерабатывающих отраслей пищевой и фармацевтической промышленности в плодах и ягодах, обладающих ценными пищевыми и лечебно-профилактическими свойствами, необходима система промышленного возделывания этих культур. Определяющим звеном в технологическом процессе производства ягод является механизированная уборка урожая, так как при ручной уборке около 80 % общих трудовых затрат по возделыванию плодоносящих ягодников приходится на сбор ягод [1, 2].

На сегодняшнем этапе разработки ягодоуборочной техники на первый план вышла задача уменьшения негативного воздействия рабочих органов машин на растения и снижения потерь и повреждения ягод при уборке. Отдельные элементы уборочных машин, контактирующие с ветвями растения, могут вызывать повреждения ветвей, обдиры коры, смятие отделенных ягод и т. д. В настоящее время производители ягодной продукции несут убытки, связанные в первую очередь с потерями при улавливании и от повреждения ягод. До 20–30 % ягод теряется во время уборки.

В большей степени это связано с несовершенством применяемых ягодоуборочных комбайнов.

Основная часть

Качество выполнения технологической операции уборки ягод всегда оценивалось двумя параметрами: полнотой отряхивания; полнотой улавливания и повреждением ягод.

Однако качество выполнения уборочных процессов определяет состояние не только уже выращенной продукции, но и самих растений после взаимодействия их с рабочими органами.

Главными критериями оценки свойств и состояния растений являются [3–4]:

- поломка однолетних приростов, однолетних и многолетних ветвей;
- кольцевые обдиры слоя коры, нарушение эпидермиса, повреждение плодовых почек, кольчаток;
- поломка верхушек ветвей, отделение листьев, повреждение ягод, наличие ягод с кистями (плодоножками);
- поломка цветоносов, черешков, листьев;
- наличие ягод с цветоносами, посторонних примесей в ворохе (комья почвы, камни, сухие ветки и др.).

Такие повреждения приводят к снижению урожайности растений и срока службы ягодных плантаций.

Поэтому дальнейшее совершенствование уборочных машин с целью повышения качества их работы всегда будет актуальным в соответствии с принципами адаптивного ягодоводства – минимально необходимое и достаточно допустимое воздействие рабочих органов на растения, позволяющее увеличить полноту улавливания, снизить повреждение ягод в соответствии с нормами агротребований и сохранить продуктивность насаждений в последующий период.

В большей степени выполнение агротехнических показателей при механизированной уборке ягод определяется конструкцией и режимами работы активатора ягодоуборочного комбайна.

Анализ исследований по обоснованию параметров активаторов ягодоуборочного комбайна.

В результате целенаправленных исследований таких ученых, как Г. П. Варламова, Ю. А. Уткова, В. В. Бычкова, Я. Л. Овчинникова, О. В. Сидорова, Л. М. Махиня, Н. М. Марчуна, П. И. Пилипенко, В. К. Спиридонова, М. В. Цицива и многих других были обоснованы основные параметры рабочих органов плодо- и ягодоуборочных машин и созданы условия для внедрения их в производство [5–12].

В 1970–90-е гг. за рубежом были освоены в производстве образцы комбайнов для уборки ягод [13–18]. Однако специфические условия нашей страны накладывают требования к конструкции данных машин, которым они не способны в полной мере соответствовать. Высокая же их стоимость выдвигает на первое место вопросы создания отечественных универсальных комбайнов, которые по своему техническому уровню должны находиться на уровне лучших зарубежных аналогов. Все это потребовало глубокого и всестороннего изучения технического и технологических процессов машинной уборки ягод и отдельных их элементов на базе комплексного исследования свойств и особенностей ягодных культур.

В работе [5] установлено, что оптимальный режим вибрации активатора характеризуется определенными соотношениями между частотой и амплитудой колебаний, воздействующими на кусты за конкретный промежуток времени.

Ранее [6] было установлено, что для повышения качества съема увеличение частоты колебаний является более предпочтительным, так как амплитуда колебаний определяется длиной плодоножки и имеет конечные значения.

В работе [5] путем теоретических исследований, исходя из закона сохранения энергии, определен диапазон рабочих частот отделения ягод, который должна обеспечивать ягодоуборочная машина при следующих допущениях (рис. 1):

- плодоножка ягоды под воздействием внешней силы работает как жесткая балка;

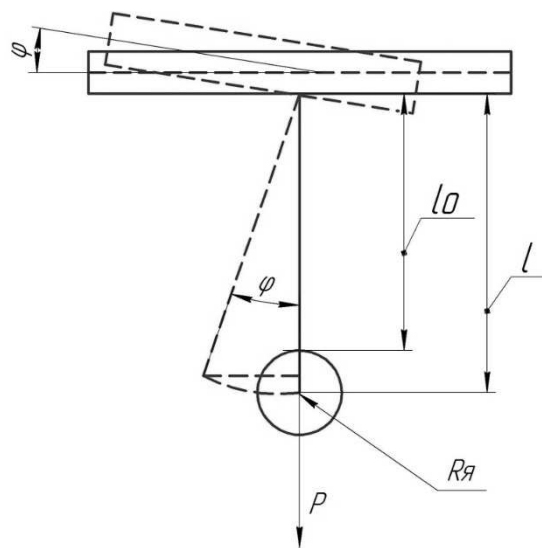


Рис. 1. Схема для определения рабочих частот отделения ягод

- ягода имеет шаровидную форму, масса ее сосредоточена в центре;
- весом плодоножки и сопротивлением воздуха пренебрегаем.

В результате диапазон рабочих частот отделения ягод черной смородины сорта «Лия плодородная» определялся по формуле

$$h = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l} \left(1 + \frac{l}{\phi_1} \right)}, \quad (1)$$

где ϕ_1 – угол отклонения плодоножки под весом ягоды, определяемый при помощи оптического угломера, рад; l – длина плодоножки с учетом радиуса ягоды, м.

Экспериментальные исследования активатора подтверждают правильность теоретических выкладок. В результате экспериментальных исследований установлена зависимость влияния частоты колебаний активатора на полноту съема ягод и поломки однолетних и многолетних ветвей (рис. 2). Наибольшая полнота уборки наблюдается при частоте колебаний 15–17 Гц, причем увеличение амплитуды колебаний почти не влияет на полноту сбора ягод.

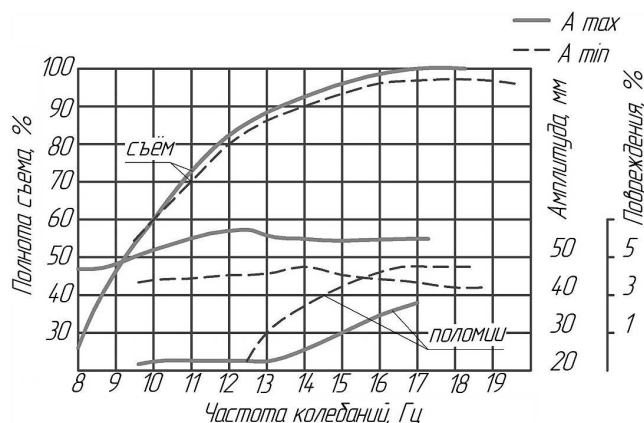


Рис. 2. Зависимость качества работы от частоты колебаний активатора

Кроме того, в работе исследовано влияние скорости движения агрегата на качество работы активатора.

Экспериментально установлено, что чрезмерное увеличение частоты колебаний приводит к снижению полноты съема до 80 %, а увеличение амплитуды колебаний свыше 25 мм во всех случаях сопровождается значительным повреждением элементов растений.

Кроме того, автором определена зависимость качества уборки ягод от скорости движения комбайна. Из графика, представленного на рис. 3, видно, что рост скорости негативно сказывается на полноте отделения ягод и количестве повреждений. Таким образом, установлено, что поступательная скорость уборочного агрегата является важным регулирующим параметром, определяющим качество работы активатора. Рациональное значение ее находится в пределах 0,5–0,7 км/ч.

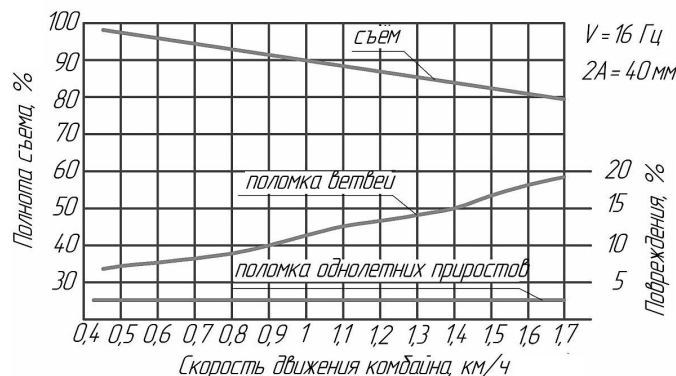


Рис. 3. Зависимость качества работы активатора от скорости движения уборочного агрегата

В работе [7], используя за основу уравнение движения плода $\frac{P}{g}\varphi = p - (p = kx)$, полученное при анализе одной из частных расчетных моделей движения физического маятника с горизонтальным перемещением точки подвеса, и применяя для решения закон изменения момента количества движения, была установлена зависимость

$$\varphi = \frac{Aw^2}{l} e^{nt} \cos wt. \quad (2)$$

Для определения величины ускорения, которое ягода получает в процессе колебаний, принимаем во внимание, что для конкретного вида ягод и типа комбайна величина логарифмического декремента e^{nt} постоянна.

Анализ этого выражения показывает, что вынужденные колебания системы ягода – плодоножка являются гармоническими со сдвигом по фазе на $\frac{\pi}{2}$ в установившемся режиме, а амплитуда зависит от величины $\frac{de}{e_{dt}} = -n$ плодоножки, входящей в выражение e^{nt} . Значение n определяется длиной плодоножки, причем с увеличением ее величины значение коэффициента n уменьшается. В последующем установлена степень зависимости коэффициента n от конкретных параметров как активатора, так и объекта воздействия активатора-куста и его элементов.

В результате теоретических и экспериментальных исследований построена номограмма (рис. 4), которая служит для определения оптимальных режимов активатора ягодоуборочного комбайна для любого вида ягод (плодов). В первом квадрате номограммы динамический коэффициент k выражается кривыми, а во втором квадрате – прямыми, угол наклона которых α , причем $k = \text{tg } \alpha$. С целью удобства пользования ею введена ось ординат ν . Парабола IV квадранта позволяет перейти от квадрата частоты колебаний активатора к ее первой степени.

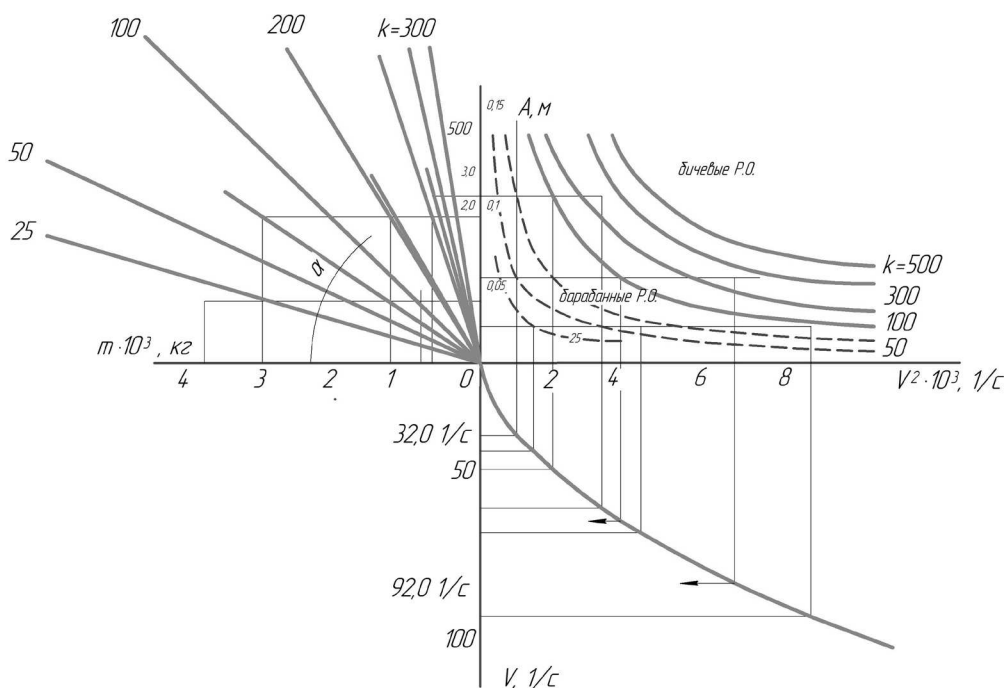


Рис. 4. Номограмма для определения оптимального режима рабочих органов комбайна в зависимости от свойств ягод (плодов): k – динамический коэффициент; V – частота колебаний активатора, 1/с (Гц); m – масса ягоды, $\cdot 10^3$ кг; F – усилие отрыва ягоды, Н; A – амплитуда колебаний вала активатора, м

На данной номограмме можно определить режим вибрации комбайна как с барабанными, так и с бичевыми рабочими органами, а также установить достаточны ли те или иные характеристики рабочего органа комбайна для отделения конкретного вида ягод. Сравнение данных теорети-

ческих исследований с материалами экспериментов на серийных образцах отечественных и зарубежных комбайнов показало хорошую сходимость результатов.

Максимальный съем ягод (более 97 %) согласно полученной модели возможен при доминирующем воздействии вибрации, передаваемой кроне одновременно двумя активаторами, когда кусты практически не уплотняются, а рабочая скорость агрегата минимальна.

Анализ влияния принципа действия активатора на съем ягод с использованием полученной математической модели показал, что вибрация гарантирует отделение ягод не ниже 80 % даже одним активатором. Вибросчесыванием и счесыванием можно собирать ягоды на уровне 80 % и более только при работе комбайнов на малых скоростях.

Анализ процесса отделения ягод активатором, проведенный автором, показал, что работа активатора определяет технологическую схему ягодоуборочного комбайна. Так было установлено, что отделение ягод происходит вследствие вибрационного и счесывающих действий активатора.

На работу вибрационного активатора влияет жесткость ветвей, а также масса ягод (m) и статическая сила (P_0) их отрыва, составляющие комплексный фактор эффекта вибрации:

$$\lambda = \frac{m\omega^2 A}{P_0}, \quad (3)$$

где ω – частота колебаний; A – амплитуда колебаний.

Работа активатора счесывающего типа в большей степени зависит от соотношения размерных параметров ягод и ветвей, представленных в виде комплексного фактора эффекта счесывания

$$x = \frac{d_y}{S - d_b}, \quad (4)$$

где d_y – диаметр ягоды; d_b – диаметр ветки; S – расстояние между пальцами активатора.

Проведенные исследования позволили создать семейство ягодоуборочных комбайнов МПУ-1, МПУ-1А, МПУ-1А-01.

В работе [8] осуществлен комплексный подход к изучению процессов воздействия рабочих органов на ягодные растения для обоснования последовательности элементов технологического процесса машинного сбора ягод на основе сопоставительного анализа свойств черной смородины, малины и земляники.

На основании проведенных исследований автором была разработана математическая модель технологического процесса комбайновой уборки ягод, где в качестве факторов были выбраны: принцип действия активаторов (x_1); степень уплотнения кроны машиной (x_2); количество активаторов в один ряд (x_3); рабочая скорость комбайнов (x_4), связанная со временем воздействия активатора на растения. Выходными параметрами были полнота отделения ягод (P_1), полнота улавливания (P_2) и полнота сбора ягод (P_3).

$$x_1 = 1,361 + 0,665x_1 + 0,675x_1^2 + 0,396x_1x_4 - 0,102x_2 + 0,329x_2x_4 + 0,590x_3 - 0,282x_3^2 + 0,335x_3x_4 - 0,662x_4 + 0,110x_1x_2x_4. \quad (5)$$

В результате анализа модели установлено, что практическую ценность представляет характер изолиний полноты съема ягод (рис. 5).

Учитывая оба этих комплексных фактора в работе активаторов виброочесывающего принципа, получено уравнение работы активатора, позволяющее прогнозировать полноту съема ягод с учетом конкретных условий периода уборки,

$$F(\lambda, x, z) = -292x^2 - 1521xz - 298z^2 + 1819\lambda z + 508x + 410z - 130. \quad (6)$$

Анализ данного уравнения показал, что решающее влияние на полноту отделения ягод оказывает взаимное воздействие эффекта вибрации и жесткости ветвей. Таким образом, для гарантированного высокого съема ягод вибрационными активаторами наличие очесывающего эффек-

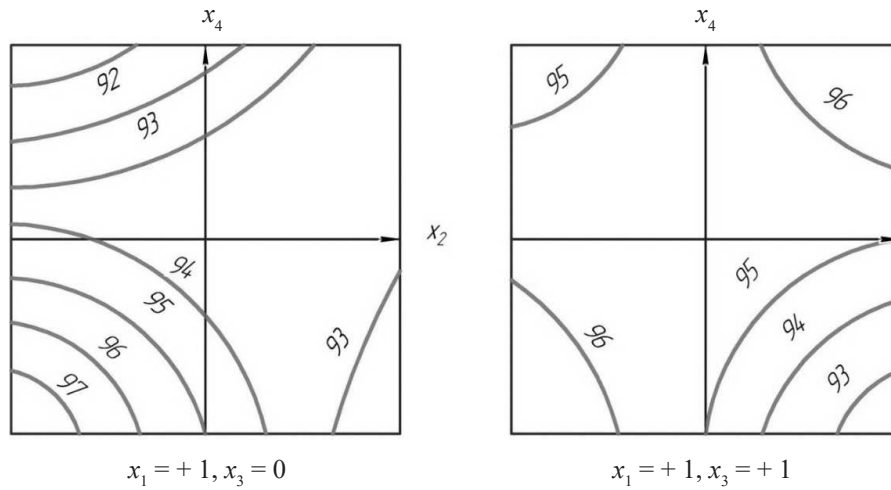


Рис. 5. Изолинии полноты съема ягод

та обязательно. А это значит, что активатор должен воздействовать практически на каждую систему ягода – плодоножка, независимо от их количества на ветви или цветоносе, передавая необходимые режимы колебаний точке подвеса ягоды.

В результате исследования сложного движения ягоды, принятой за материальную точку (рис. 6), автором были получены уравнения движения системы ягода – плодоножка.

$$\begin{aligned}
 \theta + 2n\theta \left[k^2 - \varphi^2 + \omega h_3 \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_3 \right) \right] \theta = \\
 = \omega h_1 \cos \varphi \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_1 \right) + \\
 + \omega h_2 \sin \varphi \sqrt{\omega^2 + 4n^2} \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_2 \right);
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$h_1 \sin \varphi \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_1 \right) = h_2 \cos \varphi \sin \left(\omega t - \arctg \frac{2n}{\omega} + \alpha_2 \right), \tag{8}$$

где θ – угол отклонения плодоножки от вертикали; n – отношение коэффициента пропорциональности сопротивления воздуха к массе ягоды; k – частота собственных колебаний системы ягода – плодоножка; φ – угол проекции плодоножки на горизонтальную плоскость с осью абсцисс

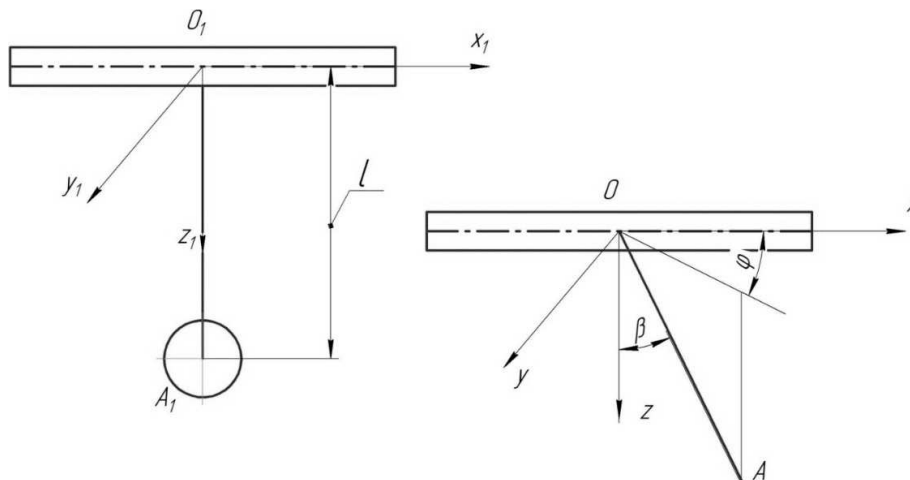


Рис. 6. Схема расположения ягоды и плодоножки для анализа движения ягоды при колебаниях участка ветви

подвижной системы координат; t – время колебания; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – сдвиг фаз между частотой вынуждающей силы и частотой перемещения по осям неподвижной системы координат; h_1, h_2 – отношение амплитудных значений (α) перемещений точки прикрепления плодоножки к ветвью по осям неподвижной системы координат к приведенной длине плодоножки (l), включающий радиус ягоды.

Исследуя движение системы с помощью уравнений в обобщенных координатах, получены дифференциальные уравнения колебаний плодоножки с ягодой:

$$\begin{aligned}
 & l_1 \left(\frac{m_1}{2} + m_2 \right) \eta_0 \cos \varphi_1 + l_1^2 \varphi_1 \left(\frac{m_1}{3} + m_2 \right) + m_2 l_1 l_2 (\varphi_2 \cos \varphi_2 - \varphi_2^2 \sin \varphi_2) + m_2 l_2 \varphi_2 \eta_0 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) = \\
 & = -m_1 g \frac{l_1}{2} \sin \varphi_1 - c_1 \varphi_1 - k_1 \varphi_1 - m_2 g \sin \left(\varphi_1 + \arctg \frac{l_1 \sin \varphi_2}{l_1 + l_2 \cos \varphi_2} \right) \sqrt{l_1^2 + l_2^2 + 2l_1 l_2 \cos \varphi_2} \times \\
 & \times m_2 l_2 \eta_0 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + m_2 l_1 l_2 \varphi_1 \cos \varphi_2 + m_2 l_2^2 \varphi_2 - m_2 l_2 \varphi_1 \eta_0 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) + J S_2 \varphi_2 = \\
 & = -m_2 g l_2 \sin(\varphi_1 + \varphi_2) - c_2 \varphi_2 - k_2 \varphi_2,
 \end{aligned} \tag{9}$$

где l_1 и l_2 – длина плодоножки и радиус ягоды соответственно; m_1 и m_2 – массы плодоножки и ягоды соответственно; η_0 – координата точки прикрепления плодоножки к ветви по оси координат, параллельной направлению колебаний; φ_1 – угол отклонения оси плодоножки от вертикали; φ_2 – угол отклонения оси ягоды от оси плодоножки; c_1 и c_2 – коэффициенты, показывающие, какие моменты необходимо приложить соответственно к плодоножке с ягодой и ягоде, чтобы повернуть их на углы φ_1 и φ_2 , равные 1 рад; k_1 и k_2 – параметры демпфирования плодоножки и ягоды соответственно; $J S_2$ – момент инерции ягоды относительно оси, проходящей через центр масс.

Решение этих уравнений с помощью ЭВМ при конкретных параметрах плодоножек и ягод черной смородины, малины и земляники показало, что в момент наступления резонанса системы ягода – плодоножка для принятой схемы частоты колебаний плодоножки с ягодой относительно ветви и ягоды относительно плодоножки существенно различались. Так, для черной смородины первая частота – 15,4 Гц, а вторая в 3,3 раза больше, для малины – 3,3 Гц и в 2,9 раза больше, для земляники – 5,9 Гц и в 2,9 раза больше соответственно. Собственно, первые частоты колебаний являются предпочтительными для работы ягодоуборочных комбайнов при уборке смородины, малины и земляники.

Важным выводом в работе автора является то, что для эффективного сбора ягод (особенно малины) требуется стабильность частоты колебаний активатора, однако в универсальном комбайне она должна регулироваться в широких пределах из-за различия свойств растений.

В работе [9] автором проведено обоснование процесса отделения плодов. Указанный процесс расчленен на две стадии: процесс передачи вибрации от рабочего органа к ветвям и непосредственный отрыв отдельных плодов.

Анализ движения точек ветвей в процессе отделения от них ягод позволил установить (рис. 7, а), что эффективность передачи вибрации от рабочего органа (активатора) очень низкая. Так, в диапазоне частот 10–20 Гц средняя амплитуда колебаний плодоносящего участка ветви, хотя и превышает амплитуду колебаний рабочего органа, но не более чем в 1,47 раза. Причиной этого является сама конструкция активатора, воздействующего одновременно двумя-тремя своими пальцами в одном направлении.

Для повышения эффективности передачи вибраций от рабочего органа к ветвям автором предложено изменить схему воздействия рабочего органа на ветвь, в частности обеспечить противоположно направленные воздействия на ветвь соседних пальцев активатора (рис. 7, б).

Решение дифференциального уравнения поперечных колебаний ветвей для ее участков, осуществленное автором:

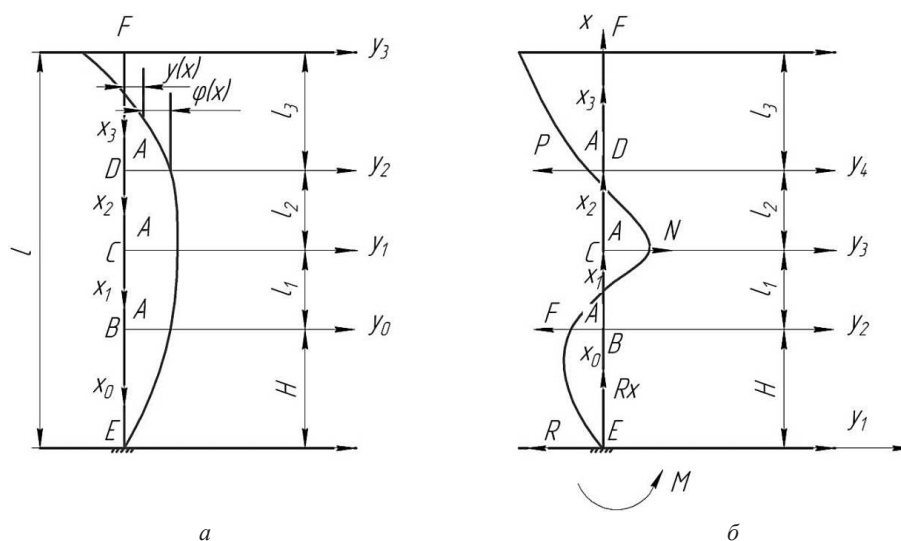


Рис. 7. Расчетные схемы колеблющейся ветви при воздействии на него серийного (а) и опытного (б) рабочих органов

$$Y_{BC \max} = A \left[\frac{y_{c2}}{A} + \frac{k [a_2 U(\alpha x_2) + b_2 V(\alpha x_2) - \sigma_2 T(\alpha x_2)]}{\alpha \sigma_2} + \frac{hf_2}{\alpha \sigma_2} \right]; \quad (10)$$

$$Y_{CD \max} = A \left[\frac{y_{c3}}{A} + \frac{z [a_3 U(\alpha x_3) + b_3 V(\alpha x_3) - \sigma_3 T(\alpha x_3)]}{\alpha \sigma_3} + \frac{hf_3}{\alpha \sigma_3} \right]; \quad (11)$$

$$Y_{DF \max} = A \left[\frac{y_{c4}}{A} + \frac{n [a_4 U(\alpha x_4) + b_4 V(\alpha x_4) - \sigma_4 T(\alpha x_4)]}{\alpha \sigma_4} \right], \quad (12)$$

где $Y_{BC \max}$, $Y_{CD \max}$, $Y_{DF \max}$ – максимальные амплитуды колебаний участков BC , CD , DF соответственно; A – амплитуда колебаний рабочего органа.

Средняя амплитуда колебаний всего плодоносящего участка ветви определена из выражения

$$A_b = \frac{Y_{BC} + Y_{CD} + Y_{DF}}{3}. \quad (13)$$

Анализ приведенных уравнений показал повышение эффективности работы активатора с разнонаправленно воздействующими пальцами. Его применение позволило в 1,3–2,7 раза повысить амплитуду вибраций ветвей. Экспериментальные исследования работы активатора позволили установить зависимости полноты съема ягод и повреждения ветвей от динамического коэффициента

$$\mu = \frac{A\omega^2}{g}. \quad (14)$$

При скорости движения машины до 0,7 м/с, начиная с $\mu = 24$ и более, полнота съема плодов черноплодной рябины находится в пределах агротехнических требований (рис. 8, 9).

В соответствии с коэффициентом кинематического режима выбираются требуемая амплитуда и частота колебаний активатора. Так, при $\mu = 24$ можно рекомендовать следующие параметры активатора: $A = 0,021–0,023$ м, $V = 16–17$ Гц.

Повреждение элементов растений (рис. 10), потери ягод и листьев, качество собранных ягод и содержание примесей в них при использовании опытного активатора находятся в допустимых агротехнических пределах при скорости движения машины до 0,7 км/ч.

Таким образом, в результате исследований автором было установлено, что для обеспечения агротехнических требований по полноте съема плодов и допустимым повреждениям ветвей для уборки аронии 5–8-летнего возраста $A = 0,021–0,023$ м, $V = 16–17$ Гц, при этом скорость движения комбайна необходимо ограничить значением 0,7 м/с.

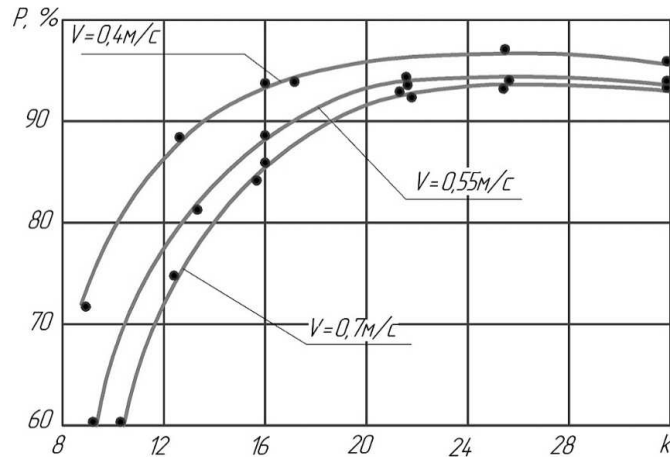


Рис. 8. Зависимость полноты съема ягод от коэффициента кинематического режима

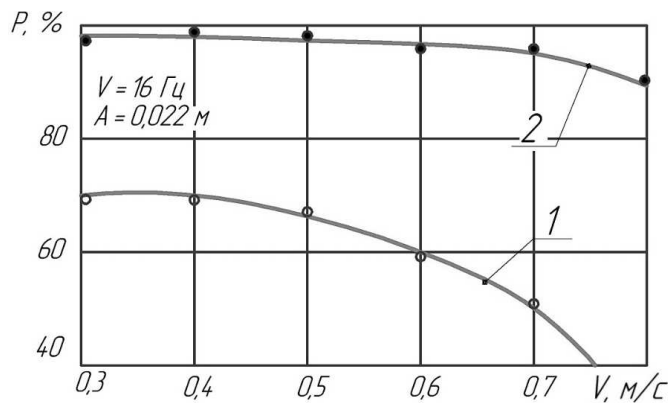


Рис. 9. Зависимость полноты съема плодов черноплодной рябины от скорости движения машины:
1 – серийный активатор; 2 – опытный активатор

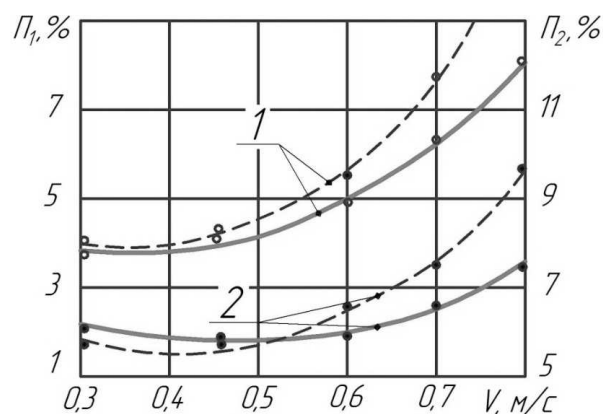


Рис. 10. Зависимость повреждения ветвей черноплодной рябины от скорости движения машины:
---- машина с серийным активатором; ——— машина с опытным активатором;
1 – поломка однолетних приростов Π_1 ; 2 – обдир коры ветвей Π_2

Исследованиями [10] установлено, что потери ягод возникают еще до начала основного процесса уборки – во время подъема ветвей вверх, к рабочему органу комбайна.

Для устранения данного недостатка работы комбайнов автором предложена конструкция формирователя (оборудованного вибрационным механизмом), устанавливаемого в передней части комбайна и осуществляющего подъем ветвей, находящихся вне зоны действия активаторов (рис. 11, 12).

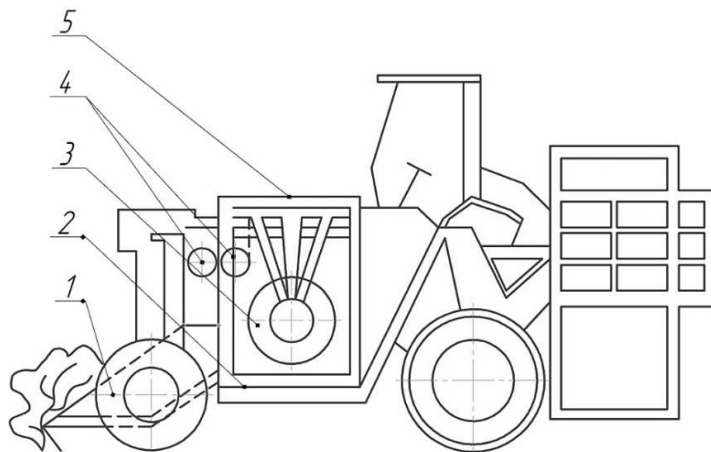


Рис. 11. Установка формирователя на комбайне: 1 – формирователь; 2 – поперечный транспортер; 3 – вибратор; 4 – блоки; 5 – рама улавливателя

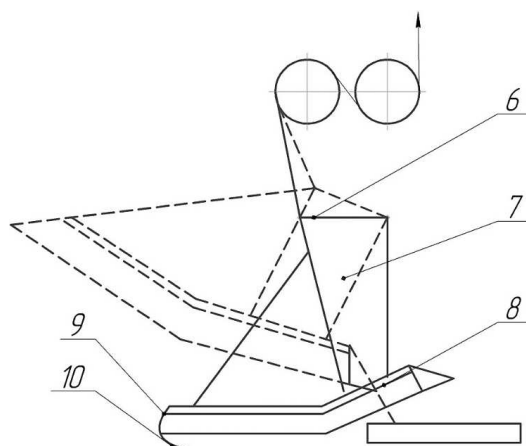


Рис. 12. Элементы конструкции и разгрузка формирователя: 6 – кольцо; 7 – направляющая плоскость; 8 – желоб; 9 – загрузка; 10 – опорная лыжа

Формирователь закрепляется на комбайне шарнирно и соединяется тросом, пропущенным через два блока, с механизмом подъема улавливателя.

При работе комбайн заезжает на ряд насаждений, который остается между передними колесами. Водитель с помощью гидросистемы опускает раму улавливателя и включает вибрационный механизм. Во время движения комбайна формирователи поднимают ветви по обе стороны ряда. Осыпавшиеся при подъеме ягоды скатываются в желоба. Для копирования рельефа поля формирователь имеет одну лыжу.

В конце ряда насаждений водитель включает вибратор и поднимает улавливатель. Одновременно с подъемом улавливателя формирователь совершает поворот вокруг точки крепления к раме комбайна, и ягоды из желоба высыпаются на поперечный транспортер. Перед заездом в следующий ряд водитель включает вибратор и системы комбайна, и ягоды поступают на очистку и затаривание.

В результате теоретических и экспериментальных исследований автором обоснованы параметры формирователя (угол встречи – 10°, угол подъема – 30°, высота носка – 0,12 м), применение которого позволило снизить потери ягод на 4–5 % и в 1,5 раза снизить повреждение кустов. Кроме того, установлено, что рост частоты вибраций активатора с 15 до 16 Гц увеличивает потери на осыпание, а установка виброопор активатора снижает потери при уборке на 2–3 %.

В работе [11] автором предложена технология формирования побегов малины, которая заключается в том, что весной побеги малины подвывают к шпалерной проволоке и переводят в наклонное положение. Это позволяет удалить зону формирования урожая малины в сторону от основания ряда посадок и за счет этого резко уменьшить потери ягод при механизированной уборке урожая. Одновременно уменьшается высота падения ягод, а следовательно, и их повреждение. Молодые побеги малины, на которых будет формироваться урожай в следующем году, растут вертикально вверх, оказываются разделенными в пространстве с плодоносящими побегами и не взаимодействуют с рабочими органами машины, что устраняет отрицательное влияние машиной уборки на урожай следующего года.

Представлены результаты изучения наиболее важных для обоснования параметров рабочих органов физико-механических показателей растений и ягод: усилий отделения спелых ягод от плодоложа и прочность плодоножек незрелых ягод; прочность ягод; изменения по длине побега его диаметра, массы, количества обрастающих веточек и их размера; распределения урожая в кроне наклонных побегов.

Установлено, что усилия отделения зрелых ягод при наклонной формировке меньше, чем при вертикальной на 5–55 %. Наибольшие отличия выявлены у сорта Латам. Прочность плодоножек розовых ягод и завязей при различной формировке побегов практически одинакова.

Средние значения усилий раздавливания ягод различной степени зрелости при вертикальной формировке больше, чем при наклонной в 1,6–1,7 раза.

Весовые и размерные характеристики надземной части растений изменяются в широких пределах. Коэффициент вариаций значений диаметров побегов на различных его участках находится в пределах от 5,5 до 18,7 %. Коэффициент вариаций значений количества обрастающих веточек на участке побега, завязей и массы участков побегов превышает 200 %.

На наклонных побегах в зоне, доступной для прохода улавливателя, находится не менее 96,5 % всех ягод.

Таким образом, по полноте съема и улавливания ягод наклонная формировка более пригодна для машинной формировки, чем вертикальная, а по прочности ягод уступает ей. Обоснованы принципиальная и конструктивная схемы экспериментальной установки и основные рабочие органы: вибратор и улавливатель.

Машина (рис. 13) навешивается на самоходное шасси Т-16ММЧ с увеличенным клиренсом. Вибратор (рис. 14) – пальцевый, свободно обкатываемый по ветвям. Вибропривод пальцев осуществляется от кулачков только в зоне взаимодействия пальцев с побегами. Улавливатель (рис. 15) представляет собой транспортер с рабочей поверхностью из хлопчатобумажного полотна с напусками, которые при подаче воздуха в полости под ними преобразуются в валики.

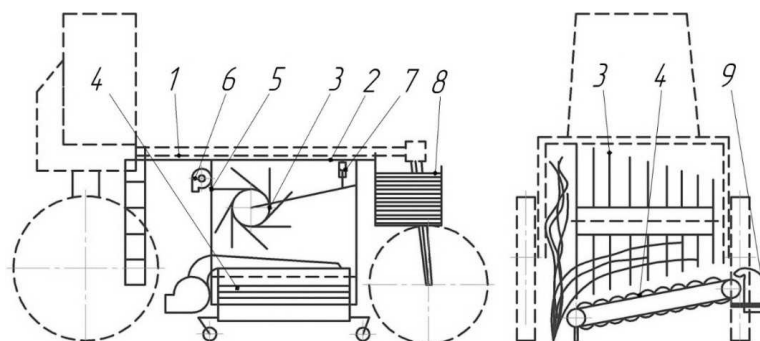


Рис. 13. Схема экспериментальной навесной малиноуборочной машины для сбора урожая с наклонных побегов:

- 1 – трактор; 2 – рама; 3 – вибратор; 4 – улавливатель; 5 – вентилятор отдува примесей;
6 – вентилятор улавливателя; 7 – гидроцилиндр; 8 – стеллаж; 9 – подножка

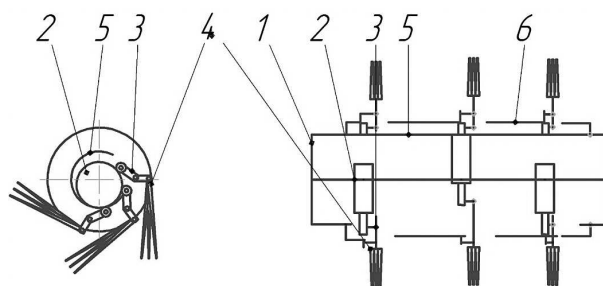


Рис. 14. Схема вибратора: 1 – вал; 2 – кулачок; 3 – рычаг; 4 – палец; 5 – труба защитная; 6 – кожух

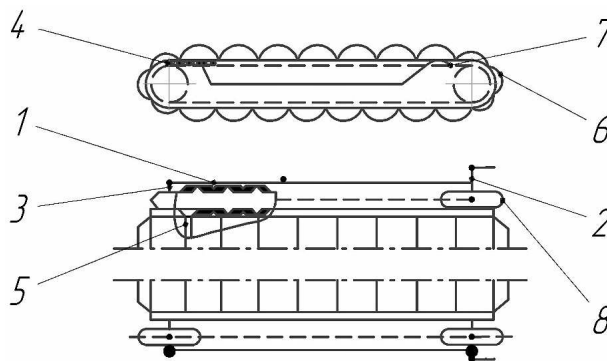


Рис. 15. Схема улавливателя: 1 – рама; 2 – вал ведущий; 3 – вал ведомый; 4 – цепной контур; 5 – планка; 6 – амортизирующее полотно; 7 – короб; 8 – звездочка

На основании результатов исследований автором установлены рациональные режимы работы активатора: $A = 20\text{--}30$ мм, $V = 10,0\text{--}12,5$ Гц.

В работе [12] изучение физико-механических свойств растений показало, что побеги малины обладают жесткостью $6\ 811$ Н/см², что значительно меньше в сравнении с другими ягодными культурами (для черной смородины – $8\ 664$ Н/см², для крыжовника – $19\ 927$ Н/см²), и поэтому не способны передавать вибрацию, достаточную для отделения зрелых ягод.

При этом усилие отрыва зрелых ягод в 4–9 раз меньше, чем у розовых и зеленых, что подтверждает целесообразность использования эффекта вибрации при уборке урожая малины.

Учитывая, что усилие съема зрелых ягод почти в 3 раза меньше усилия их раздавливания, целесообразным, по мнению автора, является использование для отделения ягод вертикальных колебаний при условии непосредственного контакта пальцев активатора с ягодами.

Теоретическими исследованиями установлено, что отделение ягод малины пальцами активатора возможно при следующих условиях.

1. В результате контакта вибрирующих пальцев активатора непосредственно с ягодами. При этом должно иметь место неравенство

$$P_{\text{п.я}} < P_{\text{повр}}, \quad (15)$$

где $P_{\text{п.я}}$ – сила, с которой палец воздействует на ягоду; $P_{\text{повр}}$ – усилие, разрушающее ягоду.

Соотношение между амплитудой колебаний и частотой в данном случае выражается неравенствами

$$A_y \leq \frac{V_{\text{повр}} \cos \alpha}{\omega}; \quad (16)$$

$$\omega_y \leq \frac{V_{\text{повр}}}{R \operatorname{tg} \alpha}, \quad (17)$$

где $V_{\text{повр}}$ – наименьшая скорость удара, при которой ягода повреждается (значение скорости определяется экспериментально); α – угол наклона плоскости качающейся шайбы; ω – частота колебаний пальцев; R – радиус качающейся шайбы активатора.

2. За счет колебаний боковых веточек пальцами активатора и сообщения ягодам соответствующих ускорений. При этом отделение ягод будет происходить, если

$$P_{и\max} < P_{о\max}, \quad (18)$$

где $P_{и\max}$ – сила инерции, сообщаемая ягоде; $P_{о\max}$ – сила сопротивления отрыву ягоды.

Соотношение между амплитудой колебаний и частотой в данном случае выражается неравенствами

$$A_b \geq \frac{P_{о\max}}{m_y \omega_b^2 \cos^2 \alpha}; \quad (19)$$

$$\omega_b \leq \sqrt{m_y R \cos^2 \alpha}, \quad (20)$$

где ω_b – частота колебаний; A_b – амплитуда колебаний; m_y – масса ягоды.

На основании анализа представленных зависимостей автором была предложена конструкция активатора ягодоуборочного комбайна с качающимися шайбами.

Качающаяся шайба представляет собой диск, насаженный через подшипник на ступицу, которая наклонена под некоторым углом к поперечному сечению приводного вала (рис. 16). В крышках диска радиально установлены пальцы, перемещающиеся в вертикальном направлении при вращении приводного вала. Кроме того, активатор имеет возможность обкатывать кусты малины за счет шарнирного крепления шайб на валу. Качающаяся шайба, совершая колебательное движение, изменяет в пространстве угол своего наклона и тем самым вызывает возвратно-поступательное перемещение пальцев в вертикальной плоскости.

При проведении экспериментальных исследований автором применены два вида пальцев: жесткие из углеродистой стали и эластичные из полиуретана.

Результаты исследований показали, что жесткость пальцев имеет существенное значение, влияющее на качественные показатели работы активатора (рис. 17). Следует отметить, что жесткие пальцы обеспечивают более высокую полноту съема (до 80 %) по сравнению с гибкими пальцами (58 %). Кроме того, жесткие пальцы уменьшают количество отделенных зеленых ягод почти в 4 раза. Повреждения молодых и плодоносящих побегов также в 1,6 раза меньше в варианте с жесткими пальцами.

В результате проведенных исследований автором сформированы следующие основные требования к параметрам и режимам работы активаторов комбайна для уборки малины.

1. Длина – 1000–1200 мм; расстояние по вертикали между пальцами активатора – 45–50 мм; длина пальцев – не менее 300 мм, амплитуда колебаний – 20–25 мм, частота колебаний – 8–10 Гц.

2. В качестве материала пальцев активатора должен использоваться жесткий материал с коэффициентом трения относительно побегов 0,28–0,37.

Практические исследования. На основании полученных результатов исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ, предназначенный для уборки ягод смородины, аронии, шиповника и крыжовника (рис. 18) [18, 19].

Приемочные испытания комбайна КПЯ проходили в РУП «Институт плодоводства» (пос. Самохваловичи Минского района) и КФХ «Зеленая ферма» (Столбцовский район) в 2016–2017 гг.

По результатам приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ получен протокол от 28 декабря 2017 г. № 073 Б 1/8-2017ИЦ [2].

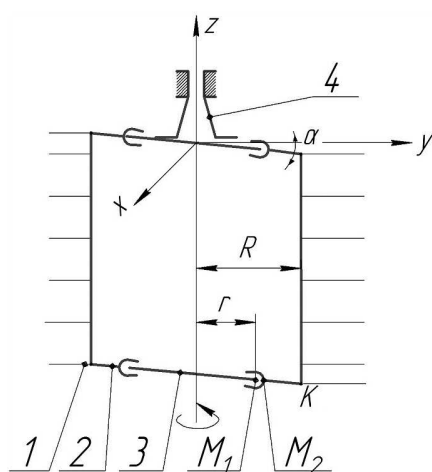


Рис. 16. Схема активатора с качающимися шайбами: 1 – пальцевые гребенки; 2 – диск; 3 – ступица; 4 – тормозное устройство

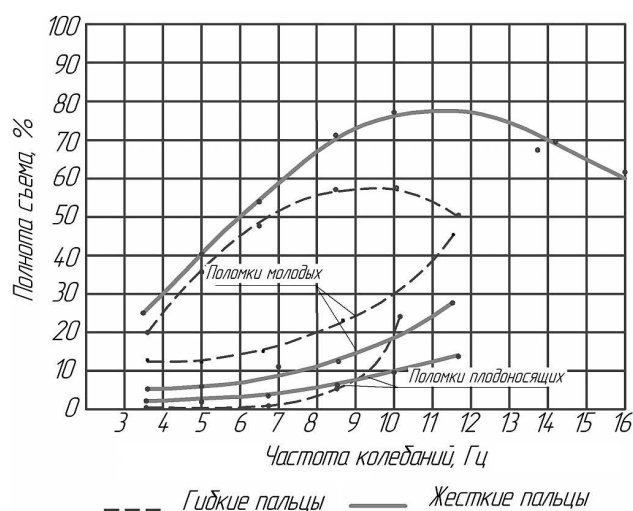


Рис. 17. Влияние жесткости пальцев на качество работы активаторов



Рис. 18. Прицепной ягодоуборочный комбайн КПЯ на уборке смородины. ГП «Восход». Минский район. 2019 г.

Показатели качества выполнения технологического процесса определены при сборе ягод ароники на рабочих скоростях движения 1,17; 1,20; 1,10 км/ч. В результате проведенных испытаний получены следующие показатели:

- полнота съема плодов – 98,1; 94,5; 98,5 % соответственно (по техническому заданию – не менее 85 %);
- полнота улавливания – 89,0; 88,7; 89,5 % соответственно (по техническому заданию – не менее 85,0 %);
- повреждение ягод – 1,6; 1,5; 1,7 % соответственно (по техническому заданию – не более 5,0 %).

Также определены показатели качества выполнения технологического процесса при сборе ягод смородины на рабочей скорости 0,75 км/ч. В результате испытаний получены следующие показатели:

- полнота съема плодов – 94,6 %;
- полнота улавливания – 92,8 %;
- повреждение ягод – 3,7 %.

Очевидно, что снижение рабочей скорости движения комбайна положительным образом сказывается на полноте улавливания ягод. Это происходит вследствие того, что при повышении скорости движения комбайна увеличивается также и частота вибраций отряхивателей, приводимых от единой гидросистемы, в результате чего увеличивается разлет ягод, оторвавшихся от ветвей насаждений, взаимодействующих с отряхивателями.

Анализ проведенных испытаний показывает, что комбайн в целом соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса уборки ягод смородины при незначительном повреждении ягод и насаждений.

На основании полученного протокола приемочных испытаний приемочная комиссия актом от 12 ноября 2018 г. № 18-01 установила, что опытный образец комбайна КПЯ соответствует требованиям технического задания, признала образец выдержавшим приемочные испытания и рекомендовала его к постановке на производство.

На основании решения комиссии утверждены технические условия ТУ ВУ 100230575.494-2017 на комплекс и получен сертификат соответствия [3].

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности при работе комбайна установлено, что годовой приведенный экономический эффект в размере 6 305,85 руб. и годовая экономия себестоимости механизированных работ в размере 3 503,25 руб. делают комплекс окупаемым за 7,1 года.

Выводы

1. Качественным показателем работы при уборке ягод является не только полнота съема и полнота улавливания ягод, но и степень повреждения насаждений.

2. В большей степени выполнение агротехнических показателей при механизированной уборке ягод определяется конструкцией и режимами работы активаторов.

3. Многочисленными исследованиями установлена рациональная конструкция активатора ягодоуборочного комбайна, представляющая собой вертикальную или наклонную трубу с закрепленными на ней пальцами, совершающими колебательные движения относительно оси симметрии трубы и в вертикальной плоскости.

4. Основными параметрами активатора, определяющими качество выполнения агротехнических показателей, являются амплитуда и частота колебаний. При этом амплитуда колебаний для различных культур примерно одинакова и составляет 20–25 мм. Частота колебаний должна составлять для черноплодной рябины – 16–17 Гц, малины – 8–12, смородины – 15–16, крыжовника (шиповника) – 12–14 Гц.

5. Для эффективной уборки ягод требуется стабильность частоты колебаний активатора, однако в универсальном комбайне, предназначенном для уборки большого количества культур, необходимо изменение частоты в широких пределах.

6. В результате проведения приемочных испытаний установлено, что комбайн КПЯ в полной мере соответствует требованиям технического задания и ТКП.

7. Годовой приведенный экономический эффект от применения комбайна КПЯ составляет 6 305,85 руб., а срок окупаемости – 7,1 года, что позволяет говорить о высокой эффективности разработанного комбайна.

Список использованных источников

1. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси / Ю. П. Лобачевский [и др.] // Механизация сельского хозяйства. – 2016. – № 2. – С. 28–37.
2. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
3. Юрин, А. Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А. Н. Юрин // Наука. – 2016. – № 7 (2578). – 15 февр. – С. 4.
4. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.] ; под общ. ред. М. И. Куликова ; ФГБНУ «Росинформагротех». – М., 2012. – 164 с.
5. Утков, Ю. А. Разработка и экспериментальное обоснование конструкции рабочих органов машин для поточного съема ягод : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ю. А. Утков. – М., 1970. – 22 с.

6. Протасов, С. В. Изыскание и исследование способа механизированного сбора ягод черной смородины и крыжовника : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. В. Протасов. – М., 1968. – 23 с.
7. Бычков, В. В. Разработка и внедрение машин для механизации трудоемких работ в садоводстве : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Бычков. – М., 1992. – 20 с.
8. Утков, Ю. А. Средства механизации и технологические процессы уборки ягод : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Ю. А. Утков. – М., 1988. – 36 с.
9. Овчинников, Я. Л. Параметры рабочего органа для уборки плодов черноплодной рябины и черной смородины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Я. Л. Овчинников. – М., 1986. – 23 с.
10. Устименко-Бакумовский, А. Г. Обоснование основных параметров формирователя смородиноуборочного комбайна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / А. Г. Устименко-Бакумовский. – М., 1983. – 20 с.
11. Сидоров, О. В. Технологическое и техническое обоснование рабочих органов малиноуборочной машины для наклонной формовки культуры : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / О. В. Сидоров. – М., 1983. – 17 с.
12. Махиня, Л. М. Исследование рабочего процесса активатора малиноуборочной машины : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Л. М. Махиня. – М., 1981. – 23 с.
13. Half-row currant and berry harvester – JOANNA-4 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://weremczukagro.com/en/products/joanna-4-8/>. – Date of access: 17.06.2021.
14. Raspberry harvester JAREK 5R [Electronic resource]. – Mode of access: <https://jagoda.com.pl/harvesters/autumn-raspberries-harvester-jarek-5/>. – Date of access: 17.06.2021.
15. Raspberry harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <https://weremczukagro.com/en/products/natalka-2/?from=1300>. – Date of access: 17.06.2021.
16. Aronia harvester ARONIC [Electronic resource]. – Mode of access: <https://jagoda.com.pl/harvesters/aronia-harvesting-machine/>. – Date of access: 17.06.2021.
17. Oxbo 7440 Multi-Crop Harvester [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.oxbocorp.com/Products/Berries/Raspberry-Harvesters/7440>. – Date of access: 17.06.2021.
18. Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей : ТКП 151-2008.
19. Протокол приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ от 28 декабря 2017 г. № 073 Б 1/8-2017ИЦ / ГУ «Белорусская МИС», пос. Привольный. – Минск, 2017. – 81 с.