

МЕХАНИЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА
MECHANIZATION AND POWER ENGINEERINGУДК 631.358-26:634.7
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-314-323>Поступила в редакцию 30.08.2023
Received 30.08.2023**П. П. Казакевич¹, А. Н. Юрин²***¹Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
*²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, Минск, Республика Беларусь***ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕБАЛАНСНОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

Аннотация. Представлен анализ конструкций вибровозбудителей ягодоуборочного комбайна и обоснованы основные параметры двухвального дебалансного механизма привода активатора. Теоретическими исследованиями определены тип и конструктивно-технологическая схема вибровозбудителя с двумя дебалансами, имеющими жесткую связь друг с другом и вращающимися в одном направлении со смещением на 180°. Анализ функционирования такого вибровозбудителя позволил установить рациональные значения массы грузов $m_a = 4,0$ кг и длину плеч $r = 0,02$ м, обеспечивающие получение вибраций с амплитудой $A = 23...27$ мм в диапазоне частот колебаний 8...20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке широкого перечня ягодных культур. Результаты исследований использованы при разработке комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ, созданного РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Он обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников аронии, смородины, крыжовника, шиповника и малины, что установлено в результате приемочных испытаний.

Ключевые слова: активатор, дебаланс, частота колебаний, амплитуда, повреждение ягод, качество уборки

Для цитирования: Казакевич, П. П. Обоснование параметров дебалансного вибровозбудителя ягодоуборочного комбайна / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 314–323. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-314-323>

Petr P. Kazakevich¹, Anton N. Yuryn²*¹Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
*²Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, Minsk, Republic of Belarus***SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF UNBALANCED VIBRATION EXCITER OF BERRY HARVESTER**

Abstract. The paper presents analysis of design of a vibration exciter of berry harvester, and dwells on substantiation of the main parameters of a two-shaft unbalanced exciter drive mechanism. As a result of theoretical studies, the type and design and technological layout is substantiated for a two-shaft vibration exciter with two unbalance unit rigidly connected to each other and rotating in the same direction with a displacement of 180°. Analysis of such a vibration exciter functioning made it possible to determine the rational values of the weights' mass $m_a = 4.0$ kg and the arms' length $r = 0.02$ m, providing vibrations with an amplitude of $A = 23...27$ mm in the frequency range of oscillations of 8...20 Hz, which corresponds to agricultural and technical requirements for harvesting a wide range of berry crops. The results of the research were used for designing a trailed berry harvester TBH, created by Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization. It ensures high-quality harvesting with minimal damage to berries and shrubs of chokeberry, currant, gooseberry, dog rose and raspberry, that was determined by acceptance tests.

Keywords: exciter, unbalance, oscillation frequency, amplitude, berry damage, harvesting quality

For citation: Kazakevich P. P., Yuryin A. N. Substantiation of parameters of unbalanced vibration exciter of berry harvester. *Vestsi natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 4, pp. 314–323 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-314-323>

Введение. Качество выполнения уборочных процессов при возделывании многолетних насаждений определяет состояние не только выращенной продукции, но и самих растений после их взаимодействия с рабочими органами уборочной машины. Поэтому главный принцип разработки ягодоуборочной техники – на основе изучения свойств растений создавать рабочие органы, воздействующие на них аналогично операциям, выполняемым вручную.

Исследованиями в области механизированной уборки ягод в разное время занимались Г. П. Варламов, Ю. А. Утков, В. В. Бычков, Я. Л. Овчинников, Л. М. Махиня, С. В. Протасов, В. К. Спиридонов, И. Г. Смирнов и другие [1–8]. Ими установлено, что наибольшее воздействие на качественные показатели работы ягодоуборочного комбайна оказывает активатор, непосредственно контактирующий с ветвями многолетних насаждений. Исследованиями [9–14] установлена рациональная конструкция активатора ягодоуборочного комбайна, представляющая собой вертикальную или наклонную трубу с закрепленными на ней пальцами, совершающими колебательные движения относительно оси симметрии трубы.

Основными параметрами активатора, определяющими качество выполнения агротехнических показателей, являются амплитуда и частота колебаний [9–14]. При этом если амплитуда колебаний для различных культур примерно одинакова и составляет 20...25 мм, то частота колебаний разная и должна составлять: для черноплодной рябины (аронии) – 16...18 Гц; смородины – 15...16 Гц; крыжовника (шиповника) – 12...14 Гц; малины – 8...12 Гц. Отклонение от указанной рациональной частоты колебаний при уборке урожая этих культур приводит к снижению степени отделения плодов (при снижении частоты) и увеличению повреждений насаждений и ягод (при ее превышении) [4–8, 11]. Таким образом, для эффективной уборки ягод определенной культуры нужна стабильная частота колебаний активатора. Однако в универсальном комбайне, предназначенном для уборки разных культур, требуется изменение частоты колебаний активатора в широком диапазоне.

При этом обоснование параметров устройства, способного генерировать колебания постоянной амплитуды с частотой от 8 до 18 Гц, до настоящего времени не выполнено.

Обоснование типа и основных параметров вибровозбудителя. Для создания вибрации используются вибровозбудители. В зависимости от вида энергии, используемой для возбуждения вибрации, различают вибровозбудители *механические, электрические, пневматические и гидравлические*.

Для возбуждения вибраций в сельскохозяйственных машинах наиболее подходящими являются механические вибровозбудители кривошипно-шатунного или центробежного типа (дебалансные).

В *кривошипно-шатунных* вибровозбудителях происходит преобразование вращательного движения ведущего звена (кривошипа, эксцентрика, кулачка) в возвратно-поступательное или качательное движение рабочего органа по закону, близкому к гармоническому, что оптимально подходит для привода активатора комбайна. Однако такие вибровозбудители при высоких частотах создают значительные инерционные нагрузки, которые нагружают опоры и подшипники рабочего органа, а также передают нежелательные вибрации на раму машины. Это вызывает необходимость их уравнивания. Поэтому такие вибровозбудители не получили широкого распространения в мобильных сельскохозяйственных машинах.

Центробежные вибровозбудители наиболее распространены, так как отличаются простотой конструкции и универсальностью применения. В сельскохозяйственном машиностроении используются преимущественно одно- или двухвальные дебалансные вибровозбудители.

В *одновальных* вибровозбудителях (рис. 1) при вращении груза 3 (с центром тяжести в точке А) с угловой скоростью ω относительно оси 2 (точка О) возникает центробежная сила, вызывающая колебания корпуса вибровозбудителя. В то же время возникающие вибрации передаются не только на рабочий орган машины, но и на ее раму, что недопустимо по требованиям безопасности

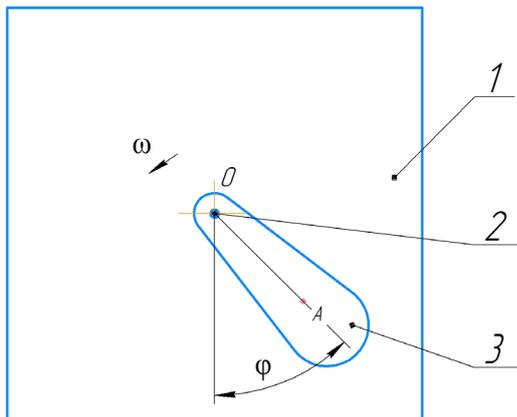


Рис. 1. Схема одношального дебалансного вибровозбудителя: 1 – корпус вибровозбудителя; 2 – ось вращения груза; 3 – груз

Fig. 1. Layout of a single-shaft unbalanced vibration exciter: 1 – vibration exciter body; 2 – axis of the weight rotation; 3 – weight

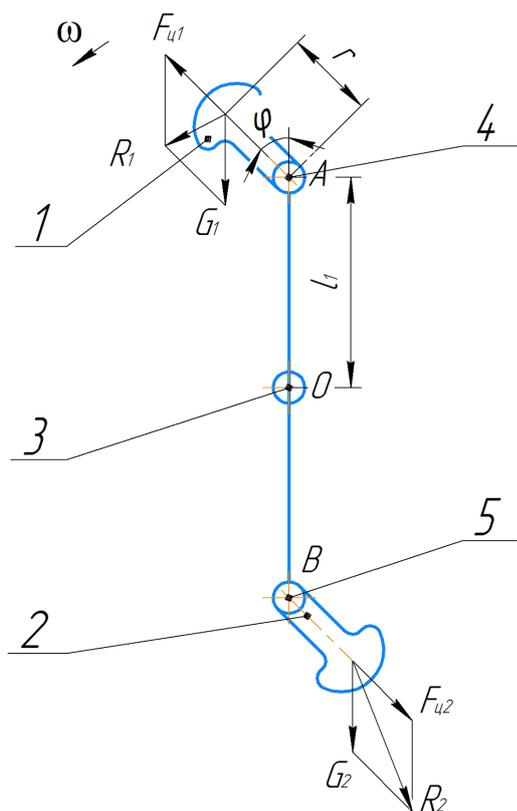


Рис. 2. Схема сил, возникающих при работе двухшального дебалансного вибровозбудителя: 1, 2 – грузы; 3 – ось вращения активатора; 4, 5 – оси вращения грузов

Fig. 2. Layout of forces arising during operation of a two-shaft unbalanced vibration exciter: 1, 2 – weights; 3 – axis of exciter rotation; 4, 5 – axes of weights rotation

для машин, на которых находятся люди. Двухшальные вибровозбудители не имеют этого недостатка. Поэтому рассмотрим их рабочий процесс.

При уборке отделение ягод от растения происходит вследствие колебаний, передаваемых от активатора ягодоуборочного комбайна к ветвям насаждения. При этом ягоды убираемой культуры совершают гармонические колебания относительно места крепления плодоножки к ветви кустарника. Для создания таких колебаний активатор комбайна должен с определенной частотой совершать поворот на некоторый угол относительно своей оси с последующим возвращением в прежнее состояние. В таком случае радиально расположенные по периметру пальцы активатора будут совершать удары по ветвям кустарника, вызывая отделение ягод.

На рис. 2 представлена схема сил, возникающих при работе двухшального дебалансного вибровозбудителя. Здесь O – ось вибровозбудителя, совпадающая с осью вращения активатора ягодоуборочного комбайна и напрямую соединенная с ней, A и B – оси вращения грузов. Грузы вращаются вокруг осей в одном направлении со смещением друг относительно друга на угол 180° . При этом их центры масс равноудалены от оси вращения вибратора.

Рассмотрим вращение грузов дебалансов вибровозбудителя. Для этого составим схему сил, приложенных к системе. При вращении дебалансов, закрепленных на осях 4 (точка A) и 5 (точка B), возникают центробежные силы F_{u1} и F_{u2} . Кроме того, на грузы действуют силы тяжести G_1 и G_2 . Примем допущение, что вращение установившееся, при этом пренебрегаем весом направляющих дебалансов ввиду их незначительности в сравнении с центробежными силами, силами инерции и весом грузов при достаточно больших значениях угловых скоростей вращения дебалансов.

Центробежная сила первого дебаланса определяется как

$$F_{u1} = m_{d1} \omega^2 r,$$

где m_{d1} – масса первого дебаланса, кг; ω – угловая скорость вращения дебаланса, c^{-1} ; r – эксцентриситет (расстояние от оси вращения до центра тяжести неуравновешенной части дебаланса), м.

Сила тяжести первого дебаланса

$$G_1 = m_{d1} g,$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 .

Равнодействующая центробежной силы и силы тяжести для первого дебаланса составит

$$R_1 = \sqrt{F_{ц1}^2 + G_1^2 + 2F_{ц1}G_1 \cos(180 - \varphi)},$$

а вращающий момент от ее действия на вал активатора

$$M_1 = R_1 l_1,$$

где φ – угол между направлением действия центробежной силы груза дебаланса и направляющей звена OA ; l_1 – плечо равнодействующей силы R_1 . Тогда вращающий момент от действия первого дебаланса

$$M_1 = r \cos \varphi \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}. \quad (1)$$

По аналогии определяем для второго дебаланса равнодействующую сил

$$R_2 = \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}$$

и вращающий момент равнодействующей силы

$$M_2 = R_2 l_2,$$

где l_2 – плечо равнодействующей силы R_2 .

Значение плеча вращающего момента определяется по выражению $l_2 = r \cos(180 - \varphi)$. Тогда

$$M_2 = r \cos(180 - \varphi) \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}. \quad (2)$$

Суммарный вращающий момент сил на валу активатора составит

$$M_{\text{сум}} = M_1 + M_2.$$

В то же время

$$M_{\text{сум}} = I \varepsilon,$$

где I – момент инерции активатора; ε – ускорение активатора, $\varepsilon = d\omega/dt$. Тогда

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{I}.$$

Момент инерции N тел определяется выражением

$$I = \sum_{i=1}^N \Delta m_i S_i^2,$$

где Δm_i – масса каждой i -й части тела; S_i – расстояние от каждой i -й части до центра масс тела.

Так как в дебалансных механизмах наибольшая масса сосредоточена именно в грузах, то для определения момента инерции одного дебаланса примем выражение для определения момента инерции обруча

$$I = m_b S^2 = (2m_{д1} + m_a) S^2, \quad (3)$$

где S – расстояние от неподвижной оси до центра масс груза, м; m_b – масса виброактиватора, кг; $m_{д1}$ – масса дебаланса, кг; m_a – масса активатора, кг.

Учитывая, что $m_{д1} = m_{д2}$, запишем:

$$I = (2m_{д1} + m_a)S^2.$$

Принимая, что $F_{ц1} = F_{ц2}$, а $G_1 = G_2$, запишем уравнение для определения суммарного вращающего момента сил относительно вала активатора:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{F_{ц1}^2 + G_1^2 + 2F_{ц1}G_1 \cos(180 - \varphi)}l_1 + \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}l_2. \quad (4)$$

Используя выражения (1) и (2), получим

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\sqrt{F_{ц1}^2 + G_1^2 + 2F_{ц1}G_1 \cos(180 - \varphi)}l_1 + \sqrt{F_{ц2}^2 + G_2^2 + 2F_{ц2}G_2 \cos(\varphi)}l_2}{(2m_{д1} + m_a)S^2}. \quad (5)$$

В выражении (5) значение S изменяется от $l + r$ до $l - r$ по зависимости $S = l + r \cos\varphi$. Тогда

$$I = (2m_{д1} + m_a)(l + r \cos\varphi)^2.$$

Подставив их в выражение (5), получим

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} = & \frac{\sqrt{(m_{д1}\omega_1^2 r)^2 + (m_{д1}g)^2 + 2m_{д1}^2\omega_1^2 r \cos(180 - \varphi)r \cos\varphi}}{(2m_{д1} + m_a)(l + r \cos\varphi)^2} + \\ & + \frac{\sqrt{(m_{д2}\omega_2^2 r)^2 + (m_{д2}g)^2 + 2m_{д2}^2g\omega_2^2 r \cos(\varphi)r \cos(180 - \varphi)}}{(2m_{д1} + m_a)(l + r \cos\varphi)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Амплитуда колебаний вибровозбудителя определяется из выражения

$$A = \frac{M_{\text{сум}}}{m_B}.$$

Используя выражения (3) и (4), получим

$$\begin{aligned} A = & \frac{\sqrt{m_{д1}^2\omega_1^2 r^2 + m_{д1}^2 g^2 + 2m_{д1}^2\omega_1^2 r g \cos(180 - \varphi)r \cos\varphi}}{2m_{д1} + m_a} + \\ & + \frac{\sqrt{m_{д2}^2\omega_2^2 r^2 + m_{д2}^2 g^2 + 2m_{д2}^2\omega_2^2 r g \cos(\varphi)r \cos(180 - \varphi)}}{2m_{д1} + m_a}. \end{aligned} \quad (7)$$

Графическая интерпретация полученных выражений представлена на рис. 3. Из графиков видно, что вращающие моменты равнодействующих сил изменяются по синусоидальному закону и значительно превышают момент инерции активатора.

На рис. 4 представлен график зависимости изменения амплитуды колебаний от пальцев активатора в зависимости от угла поворота дебалансов. Из графика следует, что полученная амплитуда колебаний значительно превышает рекомендованную (20...25 мм), что не соответствует требованиям агротехники уборки ягод.

Из зависимости (7) можно определить, что наибольшее влияние на амплитуду колебаний оказывают два параметра – масса и длина плеч дебалансов. Тогда построим графики зависимостей амплитуды колебаний при различных значениях данных переменных $m_{д}$ и r (рис. 5 и 6).

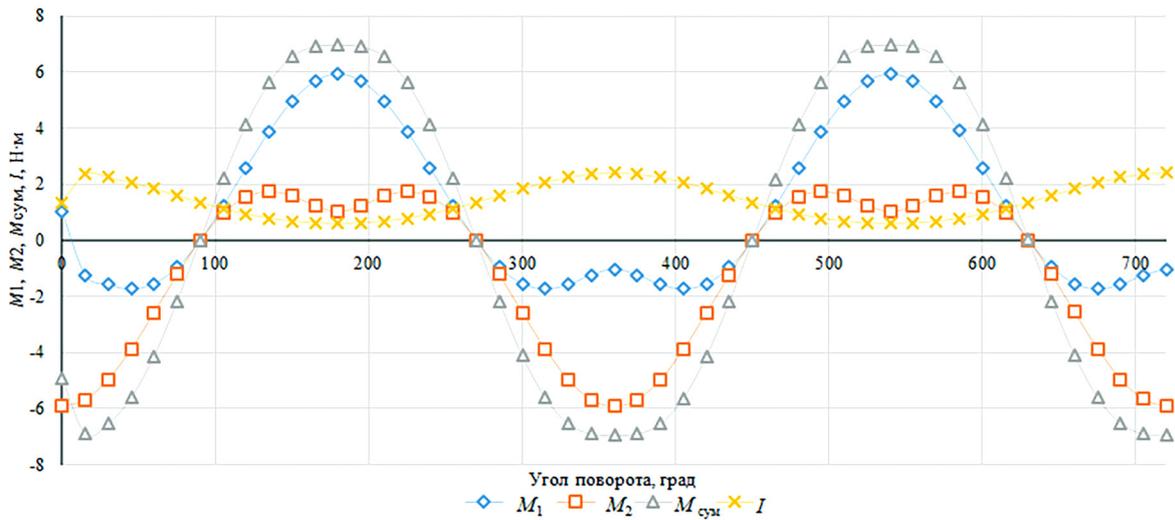
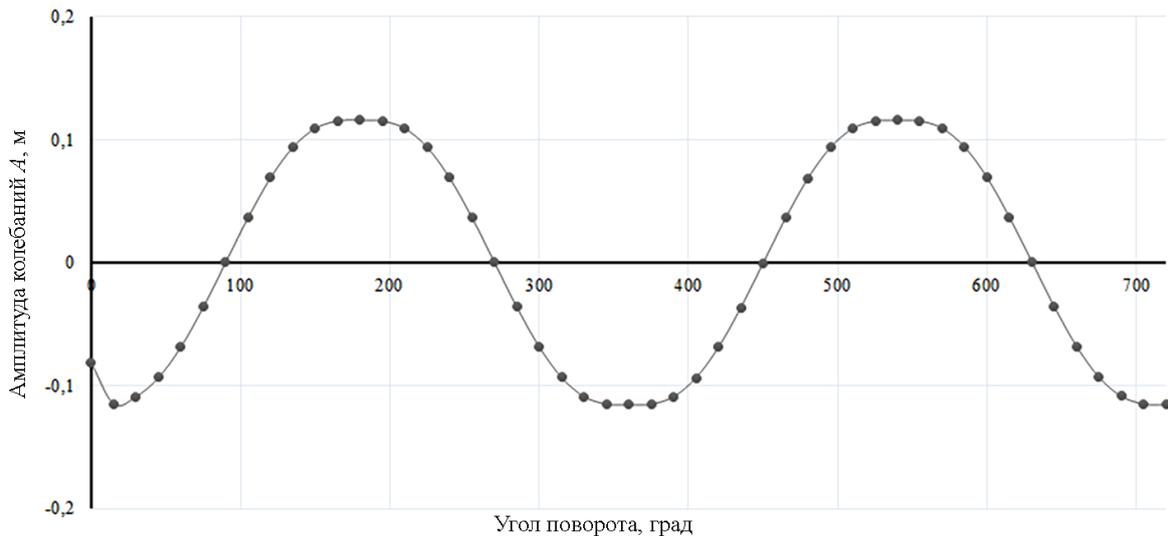


Рис. 3. Зависимости вращающих моментов сил и момента инерции активатора от угла поворота дебалансов

Fig. 3. Dependences of the torques of forces and the moment of inertia of the exciter on the angle of unbalance units rotation

Рис. 4. Зависимость изменения амплитуды колебаний активатора от угла поворота дебалансов при $m_d = 5$ кг и $r = 0,05$ мFig. 4. Dependence of the change in the amplitude of exciter oscillations on the angle of unbalance units rotation at $m_d = 5$ kg and $r = 0.05$ m

При длине плеча дебаланса r , равном 0,02 м, амплитуда колебаний активатора в зависимости от частоты колебаний от 8 до 20 Гц составляет 0,028...0,032 м, что наиболее полно соответствует агротехническим требованиям. Уточним рациональную массу дебаланса.

Из рис. 6 видно, что при массе груза 4,0 кг амплитуда колебаний в зависимости от частоты колебаний составляет 0,023...0,027 м.

Таким образом, для двухвального дебалансного виброактиватора мультикультурного ягодоуборочного комбайна масса дебаланса должна составлять $m_d = 4,5$ кг, а длина плеча $r = 0,02$ м.

Такие значения переменных позволят обеспечить амплитуду колебаний $A = 23...27$ мм в диапазоне частот колебаний 8...20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке ягод аронии, смородины, крыжовника, шиповника и малины.

Реализация исследований. Результаты проведенных исследований реализованы при создании комбайна полурыдного ягодоуборочного КПЯ (рис. 7) [15, 16].

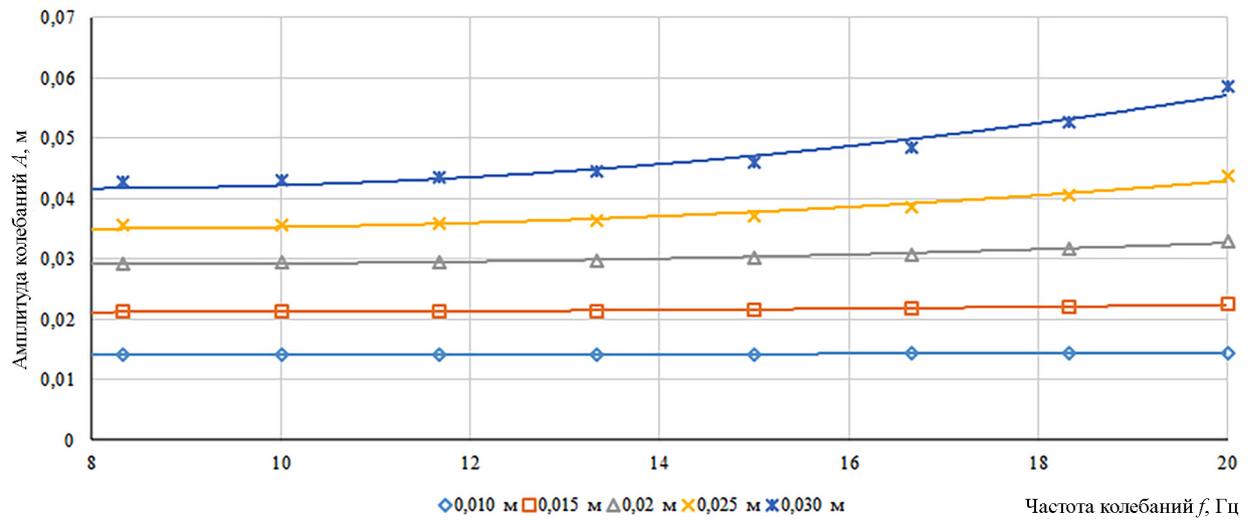


Рис. 5. Зависимость амплитуды A от частоты колебаний f при различной длине плеч дебаланса r

Fig. 5. Dependence of the amplitude A on the oscillation frequency f for different lengths of unbalance unit arms r

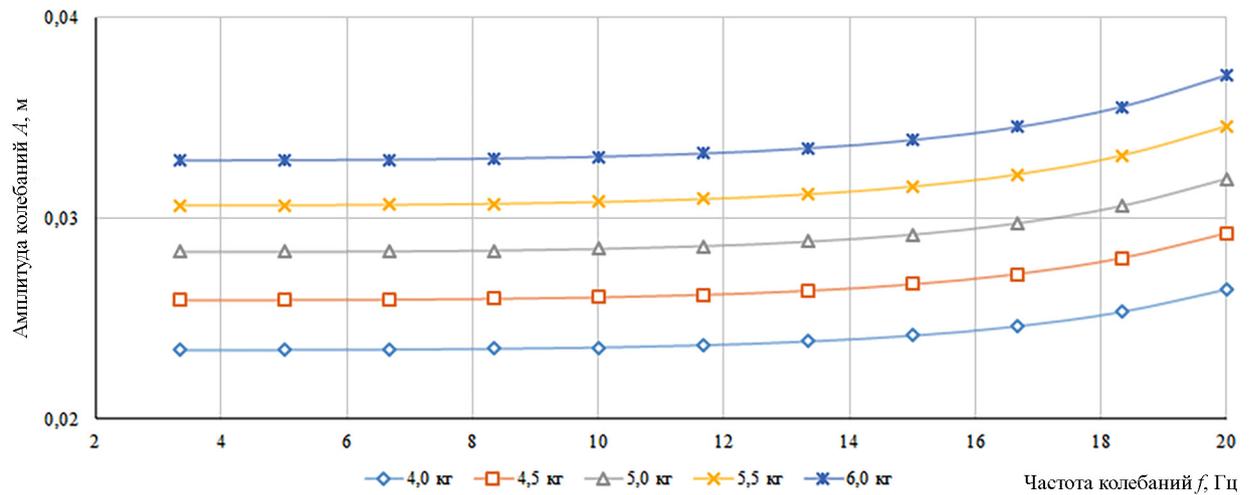


Рис. 6. Зависимость амплитуды A от частоты колебаний f при различной массе дебалансов m_d

Fig. 6. Dependence of the amplitude A on the frequency of oscillations f at different weights of unbalance units m_d



Рис. 7. Уборка смородины комбайном полурядным ягодоуборочным КПЯ

Fig. 7. Harvesting gooseberry with a trailed berry harvester ТВН

Приемочные испытания комбайна прицепного ягодоуборочного КПЯ проходили в РУП «Институт плодородства» (пос. Самохваловичи, Минский р-н) и КФХ «Зеленая ферма» (Столбцовский р-н) в 2016–2017 гг. По их результатам (протокол № 073 Б 1/8-2017ИЦ¹) получены следующие показатели: полнота съема плодов – 94,6 % (по ТЗ не менее 85 %); полнота улавливания – 92,8 % (по ТЗ не менее 85 %); повреждение ягод – 1,5...1,7 % (по ТЗ не более 5,0 %). При этом повреждение элементов куста составило 0,8...7,0 % (по ТЗ не более 8,0 %).

Анализ проведенных испытаний показал, что комбайн соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников.

Выводы. Обоснована конструктивно-технологическая схема двухвального дебалансного вибровозбудителя для привода активатора мультикультурного ягодоуборочного комбайна. Теоретическими исследованиями определены рациональные значения массы $m_d = 4,0$ кг и длины плеча дебаланса $r = 0,02$ м вибровозбудителя, обеспечивающие получение вибраций с амплитудой $A = 23...27$ мм в диапазоне частот колебаний 8...20 Гц, что соответствует агротехническим требованиям к уборке ягодных культур. Результаты исследований реализованы в комбайне полурядном ягодоуборочном КПЯ, созданном РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Приемочные испытания КПЯ показали, что комбайн в полной мере соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественную уборку урожая с минимальными повреждениями ягод и кустарников.

Благодарности. Работа выполнялась в рамках задания Р 1.12.32 «Разработать и освоить производство прицепного комбайна для уборки ягод» подпрограммы «Белсельхозмеханизация» ГНТП «Агропромкомплекс-2020», 2016–2020 гг.

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the task P 1.12.32 “To develop and master production of a trailed harvester for harvesting berries” of the subprogram “Belselkhozmechanizatsiya” of the SSTEP “Agropromkompleks-2020”, 2016–2020.

Список использованных источников

1. Машины для формирования кроны и уборки урожая плодово-ягодных культур / Г. П. Варламов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1975. – 206 с.
2. Тенденция развития конструкций машин и приспособлений для уборки плодов и ягод / Г. П. Варламов, В. В. Князьков, Ю. А. Утков. – М.: [б. и.], 1971. – 80 с. – (Обзорная информация. Серия: Сельскохозяйственные машины / М-во трактор. и с.-х. машиностроения, Центр. науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-экон. исслед. по трактор. и с.-х. машиностроению).
3. Бычков, В. В. Разработка и внедрение машин для механизации трудоемких работ в садоводстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. В. Бычков; Рос. акад. с.-х. наук, Науч.-исслед. зон. ин-т садоводства Нечернозем. полсы. – М., 1992. – 20 с.
4. Утков, Ю. А. Анализ процесса отклонения ветви ягодного куста активатором уборочной машины / Ю. А. Утков, И. Г. Смирнов // Плодородство и ягодоводство России: сб. науч. работ / Всерос. селекц.-технол. ин-т садоводства и питомниководства. – М., 2001. – Т. 8. – С. 298–309.
5. Утков, Ю. А. Разработка и экспериментальное обоснование конструкции рабочих органов машин для поточного съема ягод: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.410 / Ю. А. Утков; Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1970. – 26 с.
6. 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; Сиб. НИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва. – М., 1986. – 23 с.
7. Махиня, Л. М. Исследование рабочего процесса активатора малиноуборочной машины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Л. М. Махиня; Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1981. – 23 с.
8. Протасов, В. Т. Изыскание и исследование способов механизированного сбора урожая черной смородины и крыжовника: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 410 / С. В. Протасов; Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1968. – 27 с.
9. 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; Моск. ин-т инженеров с.-х. пр-ва. – М., 1983. – 17 с.

¹ Протокол приемочных испытаний комбайна полурядного ягодоуборочного КПЯ № 073 Б 1/8-2017ИЦ, 28 дек. 2017. Введ. 28.12.2017 / ГУ «Белорусская МИС». Привольный, 2017. 81 с.

10. Смирнов, И. Г. Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / И. Г. Смирнов. – М., 2019. – 427 л.

11. Устименко-Бакумовский, А. Г. Обоснование основных параметров формирователя смородиноуборочного комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. Г. Устименко-Бакумовский; Всесоюз. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1983. – 20 с.

12. Кашин, В. И. Принципы создания средств механизации для уборки ягод / В. И. Кашин, Ю. А. Утков // Тракторы и с.-х. машины. – 1995. – № 7. – С. 26–30.

13. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.] // Механизация сел. хоз-ва. – 2016. – № 2. – С. 28–34.

14. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси / Я. П. Лобачевский [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 10. – С. 16–20.

15. Результат испытаний ягодоуборочного комбайна КПЯ / А. Н. Юрин [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хозяйства. – Минск, 2019. – Вып. 52. – С. 157–162.

16. Юрин, А. Н. Обоснование параметров активатора универсального ягодоуборочного комбайна / А. Н. Юрин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 96–111.

References

1. Varlamov G. P., Dushkin A. I., Knyaz'kov V. V., Kuteinikov V. K., Utkov Yu. A., Fedotov I. M. *Machines for forming crowns and harvesting fruit and berry crops*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 206 p. (in Russian).

2. Varlamov G. P., Knyaz'kov V. V., Utkov Yu. A. *The trend in the development of designs of machines and devices for harvesting fruits and berries*. Moscow, 1971. 80 p. (in Russian).

3. Bychkov V. V. *Development and implementation of machines for the mechanization of labor-intensive work in gardening*. Moscow, 1992. 20 p. (in Russian).

4. Utkov Yu. A., Smirnov I. G. Analysis of the process of deviation of a branch of a berry bush by an activator of a harvesting machine. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii: sbornik nauchnykh rabot* [Fruit growing and berry growing in Russia: scientific and technical magazine]. Moscow, 2001, vol. 8, pp. 298–309 (in Russian).

5. Utkov Yu. A. *Development and experimental substantiation of the design of the working bodies of machines for the in-line removal of berries*. Moscow, 1970. 26 p. (in Russian).

6. Ovchinnikov Ya. L. *Parameters of the working body for harvesting the fruits of chokeberry and black currant*. Moscow, 1986. 23 p. (in Russian).

7. Makhinya L. M. *Study of the working process of the activator of a raspberry harvester*. Moscow, 1981. 23 p. (in Russian).

8. Protasov V. T. *Research and study of the method of mechanized harvesting of blackcurrant and gooseberry berries*. Moscow, 1968. 27 p. (in Russian).

9. Sidorov O. V. *Technological and technical substantiation of the working bodies of a raspberry harvester for inclined crop formation*. Moscow, 1983. 17 p. (in Russian).

10. Smirnov I. G. *Development of technological processes and technical means for intelligent technologies for the cultivation of shrub berry crops*. Moscow, 2019. 427 p. (in Russian).

11. Ustimenko-Bakumovskii A. G. *Substantiation of the main parameters of the shaper of the currant harvester*. Moscow, 1983. 20 p. (in Russian).

12. Kashin V. I., Utkov Yu. A. Principles of creating means of mechanization for harvesting berries. *Traktory i sel'sko-khozyaistvennyye mashiny* [Tractors and Agricultural Machines], 1995, no. 7, pp. 26–30 (in Russian).

13. Lobachevskii Ya. P., Smirnov I. G., Yurin A. N., Khort D. O., Filippov R. A. Development of technical means for the cultivation of perennial plantings in horticulture in Russia and Belarus. *Mekhanizatsiya sel'skogo khozyaistva* [Agricultural Mechanization], 2016, no. 2, pp. 28–34 (in Russian).

14. Lobachevsky Ya. P., Smirnov I. G., Yurin A. N., Hort D. O., Filippov R. A., Romanyuk N. N. Priority technical means for making and growing perennial plantations and nurseries in horticulture of Russia and Belarus. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*, 2016, no. 10, pp. 16–20 (in Russian).

15. Yurin A. N., Ignatchik A. A., Viktorovich V. V., Savchenko S. N. The result of testing the berry harvester КРЯ. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection]. Minsk, 2019, iss. 52, pp. 157–162 (in Russian).

16. Yurin A. N. Justification of the activator parameters of the universal berry harvester. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik* [Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection]. Minsk, 2022, iss. 55, pp. 96–111 (in Russian).

Информация об авторах

Казакевич Петр Петрович – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072, Минск, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0002-9102-2816>. E-mail: oan2011@mail.ru

Юрин Антон Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства (ул. Кнорина, 1, 220049, Минск, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0001-9348-8110>. E-mail: anton-jurin@rambler.ru

Information about the authors

Petr P. Kazakevich – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Ph. D. (Engineering), Professor, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0002-9102-2816>. E-mail: oan2011@mail.ru

Anton N. Yurin – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Laboratory, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (1, Knorina Str., 220049, Minsk, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0001-9348-8110>. E-mail: anton-jurin@rambler.ru