

Апажев А. К., Шекихачев Ю. А.

Arazhev A. K., Shekikhachev Y. A.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЛОДОУБОРОЧНЫХ МАШИН

### STUDY OF OPERATION MODES OF FRUIT HARVESTING MACHINES

*Механизация уборки плодов – очень сложный процесс. Высокая чувствительность их к повреждениям, разбросанность внутри кроны дерева, большое разнообразие форм и размеров крон – все эти обстоятельства сильно затрудняют создание и применение средств для механизированной уборки урожая в садах. Поэтому применяют ручной и машинный способы уборки плодов. Ручной способ разделяют на: уборку с применением простого ручного садового инвентаря (скамейки, лестницы, и др.) и с помощью специальных платформ, передвигаемых вручную, самоходных, навесных и прицепных.*

*Машинный способ уборки с использованием плодуборочных машин наиболее производительен и эффективен. Во время работы плодуборочных машин необходимо следить за качеством уборки – полнотой съема плодов, полнотой улавливания, повреждениями коры и ветвей деревьев, степенью очистки плодов от примесей. Полнота стряхивания зависит как от сорта плодов и формы кроны, так и режимов работы стряхивателя. Наиболее полный съем 95-100% – на деревьях с легко отделяемыми плодами, имеющими кольчатый или смешанный тип плодоношения. Лучшая форма – приподнятая «жесткая» крона без свисающих пониклых ветвей.*

*Для повышения эффективности функционирования плодуборочных машин следует оптимизировать их основные параметры. В этой связи, в данной статье приведены результаты исследования процесса работы плодуборочных машин (длительность и частота колебаний, отрыв плода от плодоножки и др.), в результате которых установлены оптимальные режимы колебания точки подвеса плодов для их отрыва.*

**Ключевые слова:** садоводство, плодовые насаждения, плоды, уборка, машина, вибрация, режим работы.

*Mechanization of fruit harvesting is a very difficult process. The high sensitivity of them to go damaged, the dispersion inside the crown of the tree, the wide variety of forms and sizes of the crowns - all these circumstances make it very difficult to create and apply means for mechanized harvesting in gardens. Therefore, manual and machine methods of fruit harvesting are used. Manual method is divided into: cleaning with the use of simple manual garden equipment (benches, stairs, etc.) and with the help of special platforms, moved manually, self-propelled, hinged and trailer.*

*Mechanized method of harvesting using fruit harvesting machines is the most efficient and efficient. While working of fruit harvesting machines need to be monitored the quality of harvesting - completeness of fruit removal, completeness of trapping, damage to bark and tree branches, degree of cleaning of fruits from impurities. The completeness of the shake depends on both the fruit variety and crown shape and the operating modes of the shake. The most complete meal is 95-100% on trees with easily separable fruit, having a ring or mixed type of fruiting. The best shape is a raised «rigid» crown without hanging lower branches.*

*In order to increase the efficiency of fruit harvesting machines, their main parameters should be optimized. In this regard, this article presents the results of the study of the process of operation of fruit harvesting machines (duration and frequency of oscillations, separation of the fruit from the fruit crown, etc.), as a result of which optimal modes of oscillation of the point of suspension of fruits for their separation are established.*

**Key words:** horticulture, fruit plantations, fruits, cleaning, machine, vibration, mode of operation.

Апажев Аслан Каральбиевич –

доктор технических наук, доцент кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Шекихачев Юрий Ахметханович –

доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик  
Тел.: 8 928 077 33 77  
E-mail: shek-fmep@mail.ru

**Apazhev Aslan Karalbievich** –  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Mechanics and

Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

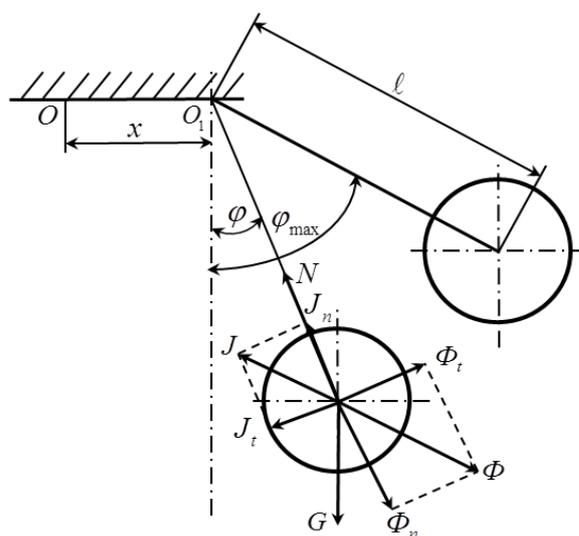
**Shekikhachev Yury Akhmetkhanovich** –  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik  
Тел.: 8 928 077 33 77  
E-mail: [shek-fmep@mail.ru](mailto:shek-fmep@mail.ru)

**Введение.** Механизация трудоемких процессов в садоводстве – сложная и многогранная проблема [1-3]. Для ее решения необходим комплекс высокоэффективных технических средств, охватывающих весь технологический процесс получения плодовой продукции [3-6].

При проведении исследований учитывалось, что при вибрации дерева плод на плодоножке практически может совершать колебания в любой плоскости. При этом на смещение точки подвеса плода в горизонтальной плоскости могут накладываться смещения в других плоскостях. Сама ветвь также может вибрировать не в одной плоскости. Поэтому абсолютное движение центра тяжести плода будет весьма сложным, трудно поддающимся математическому описанию. Следовательно, математически проанализировать движение центра тяжести плода возможно наложением на систему определенных ограничений.

**Результаты исследования.** Плод отрывается при условии, когда действующие на него инерционные силы превосходят силу связи плодоножки с ветвью или плодом. При колебании плода вокруг точки подвеса возникающие нормальные составляющие инерционных сил создают соосные растягивающие силы, а касательные – создают момент, который изгибает плодоножку в месте прикрепления ее к ветви (рис. 1), т. е. эти силы способствуют отрыву плодоножки от ветви.

В ходе анализа процесса отрыва плода приняли гипотезу о том, что точка его подвеса, в независимости от расположения на ветви, перемещается в горизонтальной плоскости, совершая гармонические колебания.



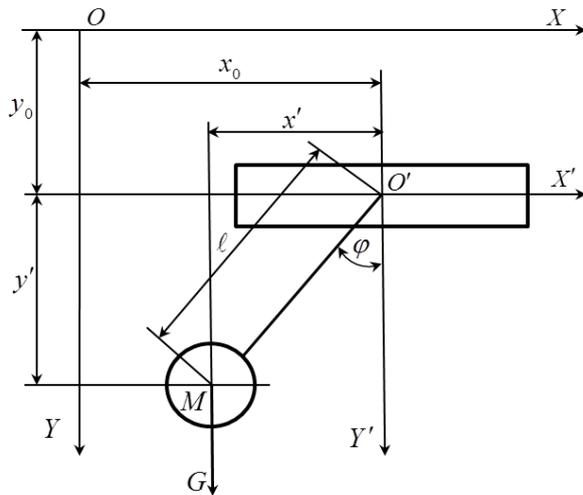
**Рисунок 1** – Схема физического маятника с точкой подвеса на платформе, движущейся поступательно

Кроме этого, было принято, что плодоножка в процессе колебаний не изгибается, жестко прикреплена к плоду и шарнирно к ветви (вследствие малой жесткости плодоножки).

Таким образом, в ходе анализа процесса отрыва отдельного плода правомерно применение уравнения движения простого физического маятника с горизонтальным синусоидальным перемещением точки его подвеса, т.е. плод с плодоножкой условно можно представить как простой физический маятник, точка подвеса которого прикреплена к платформе, движущейся поступательно (рис. 2).

На основании закона движения центра тяжести и воспользовавшись некоторыми физико-механическими свойствами плодов (прочностью связи плодоножки с ветвью и плодом, размерами и массой плода и плодоножки), возможно теоретическое определение оптимальных режимов колебания точки подвеса для отрыва плода

путем подсчета инерционных сил (при различных режимах колебаний точки подвеса) и сравнения их со статическими усилиями отрыва плода. В случае превалирования инерционных сил над статическими усилиями отрыва, будет иметь место отрыв плода в месте наименьшей связи.



**Рисунок 2** – Схема физического маятника с точкой подвеса на платформе, движущейся поступательно

Дифференциальные уравнения движения центра тяжести плода могут быть получены методом Лагранжа. Принимая за обобщенную координату угол  $\varphi$  отклонения плода от вертикальной оси  $O'y'$  (рис. 2), находим координаты абсолютного движения центра тяжести плода (точки  $M$ ):

$$x = x_0 \pm x' = x_0 - \lambda \sin \varphi; \quad (1)$$

$$y = y_0 + y' = y_0 + \lambda \cos \varphi. \quad (2)$$

Далее, составляем выражение для кинетической энергии  $T$ , пользуясь уравнениями (1) и (2). Для этого сначала находим:

$$\dot{x} = \dot{x}_0 - \lambda \cos \varphi \dot{\varphi}, \quad \dot{y} = \dot{y}_0 - \lambda \sin \varphi \dot{\varphi} \quad (3)$$

а затем получаем:

$$T = \frac{m}{2} [\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + \lambda^2 \dot{\varphi}^2 - 2\lambda(\dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi) \dot{\varphi}] \quad (4)$$

Потенциальная энергия будет:

$$\Pi = -Gy' = -mgy' = -mg\lambda \cos \varphi. \quad (5)$$

Составляем затем уравнение Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi}, \quad (6)$$

где:

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = m\lambda^2 \dot{\varphi} - m\lambda(\dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi);$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi} = m\lambda(\dot{x}_0 \sin \varphi - \dot{y}_0 \cos \varphi) \dot{\varphi}$$

Подставив значения величин в уравнение Лагранжа, взяв производную и произведя сокращения, получим:

$$\dot{\varphi} \left[ \frac{g}{\lambda} \sin \varphi - \frac{1}{\lambda} (\dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi) \right] = 0. \quad (7)$$

При колебании точки подвеса плода в горизонтальной плоскости по закону  $x_0 = a \sin \omega t$ ,  $y_0 = 0$  дифференциальное уравнение движения (7) приводится к следующему виду:

$$\dot{\varphi} \left[ \frac{g}{\lambda} \sin \varphi + \frac{a\omega^2}{\lambda} \sin \omega t \cos \varphi \right] = 0. \quad (8)$$

В первом приближении можно полагать, что  $\sin \varphi \approx \varphi$ ,  $\cos \varphi \approx 1$ , тогда, обозначив  $g/\lambda = k^2$ , уравнение (8) запишем так:

$$\dot{\varphi} \left[ k^2 \varphi + \frac{a\omega^2}{\lambda} \sin \omega t \right] = 0. \quad (9)$$

Уравнение (9) является уравнением вынужденных колебаний и его решение может быть представлено в виде суммы:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2,$$

где:

$\varphi_1$  – общий интеграл соответствующего однородного уравнения  $\ddot{\varphi} + k^2 \varphi_1 = 0$ ;

$\varphi_2$  – частное решение уравнения.

Следует отметить, что общий интеграл однородного уравнения  $\ddot{\varphi} + k^2 \varphi_1 = 0$  – уравнение собственных колебаний системы, решение которого может быть записано в форме  $\varphi_1 = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt$ . Частное решение можно записать в форме  $\varphi_2 = B \sin \omega t$ . Таким образом:

$$\varphi = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt + \frac{a\omega^2}{\lambda(k^2 - \omega^2)} \sin \omega t; \quad (10)$$

$$\dot{\varphi} = C_1 k \cos kt + C_2 k \sin kt + \frac{a\omega^3}{\lambda(k^2 - \omega^2)} \cos \omega t.$$

Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  определяются из начальных условий: при  $t = 0, \varphi = 0$ , а значит и  $C_2 = 0$ ; при  $t = 0, \dot{\varphi} = 0$ , следовательно,

$$C_1 = \frac{a\omega^3}{k\lambda(k^2 - \omega^2)}.$$

Подставляя постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  в выражение (10), имеем:

$$\varphi = \frac{a\omega^2}{\lambda(k^2 - \omega^2)} \left( \sin \omega t - \frac{\omega}{k} \sin kt \right), \quad (11)$$

где:

$a$  – амплитуда возбуждающей силы;

$\omega$  – круговая частота возбуждающей силы;

$\lambda$  – приведенная длина физического маятника;

$k = \sqrt{g/\lambda}$  – круговая частота собственных колебаний плода.

Выражение (11) является законом движения физического маятника (плода) в функции угла поворота. Из этого выражения следует, что движение плода – это результат сложения двух собственных и вынужденных гармонических колебаний.

Наиболее невыгодным случаем отрыва плода будет тот, при котором отсутствуют резонансные явления. Дальнейшие расчеты режимов работы плодуборочной машины ведем, исходя из самых неблагоприятных условий, т.е. без учета положительного влияния резонанса.

На основании изложенного уравнение (11) анализируем, исходя из предположения, что собственные колебания плода отсутствуют. В этом случае может быть принято, что  $k^2 - \omega^2 \approx \omega^2$ , а второй член в скобках равен нулю. Отсюда уравнение (11) принимает вид:

$$\varphi = \frac{a}{\lambda} \sin \omega t. \quad (12)$$

Сделанное допущение приводит к ошибке при подсчетах в пределах 2-6%. С увеличением частоты вынужденных колебаний ошибка уменьшается.

## Литература

1. Шوماхов Л.А., Шекихачев Ю.А., Балкаров Р.А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах // Садоводство и виноградарство. 1999. №1. С. 7.

## References

Из рисунка 1 следует, что отрыв плода во время колебаний происходит под влиянием нормальной  $\Phi_n$  и касательной  $\Phi_t$  составляющих силы инерции:

$$\Phi_n = M\lambda\omega^2; \quad (13)$$

$$\Phi_t = M\lambda\omega^2; \quad (14)$$

где:

$M$  – масса плода.

Подставляя в равенства (13) и (14) значения производных из уравнения (12), получаем:

$$\Phi_n = N = \frac{Ma^2\omega^2}{\lambda} \cos^2 \omega t; \quad (15)$$

$$\Phi_t = Ma\omega^2 \sin \omega t. \quad (16)$$

Значение полной силы инерции рассчитывается по выражению:

$$\Phi = \sqrt{\Phi_n^2 + \Phi_t^2}. \quad (17)$$

На процесс уборки плодов влияют различные случайные факторы: расположение плодов на ветвях, характер прикрепления, разница в размерно-весовых характеристиках плодов на одном дереве и др.). Теоретически их учесть довольно затруднительно. Все же воспользовавшись приведенными выше зависимостями возможно получение достаточно точных и адекватных результатов.

Для определения режимов колебаний точки подвеса, при которых отрывается плод, необходимо, задаваясь различными режимами колебаний, находить нормальные, касательные и полные инерционные силы.

**Вывод.** Установлены оптимальные режимы колебания точки подвеса плодов для их отрыва: для вишни и черешни частота колебаний 900-1200 цикл/мин, амплитуда – 20-30 мм; для слив, миндаля и орехов, соответственно, 620-850 цикл/мин и 40-50 мм; для яблок и груш, соответственно, 500-600 цикл/мин и 20-40 мм.

1. *Shomahov L.A., Shekikhachev YU.A., Balkarov R.A. Mashiny po uhadu za pochvoj v sadah na gornyh sklonah // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 1999. №1. S. 7.*

2. *Атласкиров А.М., Шекихачев Ю.А., Шوماхов Л.А. Агротехническая и экономическая эффективность ротационной садовой косилки // Известия Горского государственного*

аграрного университета. 2014. Т. 51. №2. С. 164-168.

3. *Апхудов Т.М., Анажеев А.К., Шехихачев Ю.А.* Обоснование основных конструктивных и технологических параметров измельчителя ветвей плодовых деревьев // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 4. С. 15-19.

4. *Балкаров Р.А., Сабанчиева Ф.Р.* Обоснование режимов работы приемных пунктов фруктохранилищ и перерабатывающих предприятий в условиях предгорного и горного садоводства КБР // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2019. №1(23). С. 39-42.

5. *Балкаров Р.А.* Обоснование состава уборочно-транспортных звеньев в условиях предгорного садоводства КБР // Международная научно-практическая конференция, посвященная 75-летию окончания Сталинградской битвы. 2018. С. 293-298.

6. *Заммоев А.У., Балкаров Р.А., Медовник А.Н., Твердохлебов С.А.* Основы проектирования блочно-модульных машин для горного и предгорного садоводства и некоторые перспективы разработки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 97. С. 294-309.

2. *Atlaskirov A.M., Shekihachev YU.A., Shomahov L.A.* Agrotekhnicheskaya i ekonomicheskaya effektivnost' rotacionnoj sadovoj kosilki // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. Т. 51. №2. С. 164-168.

3. *Aphudov T.M., Apazhev A.K., Shekihachev YU.A.* Obosnovanie osnovnyh konstruktivnyh i tekhnologicheskikh parametrov izmel'chatelya vetvej plodovyh derev'ev // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2019. №4. С. 15-19.

4. *Balkarov R.A., Sabanchieva F.R.* Obosnovanie rezhimov raboty priemnyh punktov fruktohranilishch i pererabatyvayushchih predpriyatij v usloviyah predgornogo i gornogo sadovodstva KBR // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova. 2019. №1(23). С. 39-42.

5. *Balkarov R.A.* Obosnovanie sostava uborochno-transportnyh zven'ev v usloviyah predgornogo sadovodstva KBR // Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvya-

shchennaya 75-letiyu okonchaniya Stalingradskoj bitvy. 2018. С. 293-298.

6. *Zammoev A.U., Balkarov R.A., Medovnik A.N., Tverdohlebov S.A.* Osnovy proektirovaniya blochno-modul'nyh mashin dlya gornogo i predgornogo sadovodstva i nekotorye perspektivy razrabotki // Politematicheskij setевой elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. №97. С. 294-309.

