

8. Матвеев, И. Н. Обоснование выбора технологии и состава машинно-тракторного агрегата с использованием коэффициента энергообеспеченности / И. Н. Матвеев // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары. – 2021. – С. 131–136.
9. Щитов, С. В. Влияние энергозатрат на выбор энергетического средства / С. В. Щитов, Н. В. Спириданчук, Е. С. Поликутина // Научное обозрение. – 2014. – № 8 (2). – С. 535–538.
10. Щитов, С. В. Оценка полных энергозатрат машинно-тракторных агрегатов на предпосевной обработке почвы / С. В. Щитов, О. П. Митрохина // Научное обозрение. – 2014. – № 2. – С. 38–40.
11. Саклаков, Д. В. Технико-экономическое обоснование выбора средств механизации / Д. В. Саклаков, М. П. Сергеев. – М.: Колос, 1973. – 200 с.
12. Гаспарский, В. А. Праксеологический анализ проектно-конструкторских разработок / В. А. Гаспарский. – М.: Мир, 1978. – 172 с.
13. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. академия наук Беларуси; Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 520 с.
14. Phil Brown Welding Corp. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://philbrownwelding.com/index.php/new-products>. – Date of access: 17.07.2020.
15. FRUMACO Europe srl. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.frumacoeurope.eu/Apps/WebObjects/RFrumaco.woa/wa/viewFile?id=304&lang=eng> – Date of access: 17.07.2020.
16. Munckhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.munckhof.org/machine/pluk-o-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.
17. N. BLOSI Manufacturers of agricultural machinery [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.nblo.si.com/en/harvesting\\_conveyor/harvesting\\_conveyor.php](http://www.nblo.si.com/en/harvesting_conveyor/harvesting_conveyor.php). – Date of access: 17.07.2020.
18. Feucht fruit technology [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.feucht-obsttechnik.de/en/fruit-harvesting-technology/fruit-harvesting-machines.html>. – Date of access: 17.07.2020.
19. Косилка-валкователь для установки на трактор RX300 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/fama/product-175225-49766.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.
20. Валкователь для виноградной лозы MAGIC Series [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agriexpo.ru/prod/corbins-agricultural-technology/product-183374-64828.html>. – Дата доступа: 22.08.2020.
21. Heavy duty flail pruning choppers – Series KG en KK [Electronic resource]. – Mode of access: <https://vanwamel.nl/en/products/orchards-vineyards/pruning-choppers/134-kg-kk-heavy-duty-models>. – Date of access: 17.07.2020.
22. Flail mowers and shredders – DRAGONE [Electronic resource]. – Mode of access: <http://weremczukagro.com/en/products/mower-flail-shredder-dragone-2/>. – Date of access: 17.07.2020.
23. Организации и предприятия по производству, переработке и торговле продукцией плодородства и научному обеспечению отрасли: адресно-телефонный справочник / РУП «Институт плодородства». – Самохваловичи, 2010. – 222 с.
24. Валовый сбор и урожай фруктов и ягод в Республике Беларусь за 2019 год: стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2019. – 14 с.
25. О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 15 дек. 2017 г., № 962 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21700962&p1=1&p5=0>. – Дата доступа: 17.07.2020.

УДК 631.358:634

Поступила в редакцию 19.10.2022

Received 19.10.2022

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЗАГРУЗКИ ЯБЛОК В КОНТЕЙНЕР ПЛОДОУБОРОЧНОГО АГРЕГАТА**

*Аннотация.* В данной работе рассмотрен процесс загрузки яблок в контейнеры при механизированной уборке десертных плодов, предназначенных для длительного хранения.

С целью повышения качества уборки и обеспечения снижения повреждения плодов проведено обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для загрузки и его параметров, обеспечивающих минимальное повреждение и максимальную загрузку контейнера плодами при уборке без участия человека.

*Ключевые слова:* плодородство, уборка плодов, механизированные работы, степень заполнения, рабочий процесс.

A. N. Yurin

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

## STUDY OF THE PROCESS OF MECHANIZED LOADING OF APPLES IN THE CONTAINER OF THE HARVESTING UNIT

*Abstract.* In this work, the process of loading apples into containers during mechanized harvesting of dessert fruits intended for long-term storage is considered.

In order to improve the quality of harvesting and to ensure the reduction of fruit damage, the design and technological scheme of the loading device and its parameters were substantiated, ensuring minimum damage and maximum loading of the container with fruits during harvesting without human intervention.

*Keywords:* fruit growing, fruit harvesting, mechanized work, degree of filling, working process.

### Введение

Уборка плодов – заключительная и решающая операция в общем плане работ по выращиванию плодов, во многом определяющая качественные и количественные показатели производимой продукции и экономики отрасли в целом, на выполнение которой затрачивается более 30 % всех трудовых затрат [1–4].

В последнее десятилетие за рубежом все больше создается универсальных плодуборочных платформ, обеспечивающих повышение производительности труда сборщика в 2,5–3,5 раза по сравнению с ручным трудом и снижение издержек на 10–20 % [5–9].

Съем плодов с таких платформ осуществляется сборщиками вручную, однако все следующие операции по транспортированию плодов и заполнению ими контейнеров осуществляются механизированно.

При этом обоснования конструктивных параметров и режимов работы данных машин до настоящего времени не проведено, что не позволяет в полной мере реализовать потенциал повышения производительности труда в конкретных природно-климатических условиях.

### Основная часть

**Обоснование параметров устройства для загрузки контейнера.** Снятые сборщиками плоды необходимо доставлять к таре и укладывать в неё. Самым рациональным способом транспортирования плодов от места сбора к месту упаковки является доставка их транспортерами.

Транспортировка осуществляется посредством ленточных транспортеров с поперечными планками или без них. При этом скорость транспортера должна быть такой, чтобы обеспечивались подача и спуск плодов в тару с минимальным количеством повреждений. Плоды, падающие с транспортера, ударяются о дно тары или слой плодов, находящихся в ней. При ударе плодов о дно тары их кинетическая энергия переходит в энергию упруго-пластических деформаций (материал тары под действием этого удара остается практически недеформируемым). При падении плодов с транспортера на плоды, лежащие в таре, часть кинетической энергии переходит в энергию деформации как ударяющих, так и ударяемых плодов.

Если принять тару и площадку, на которой она установлена, за неподвижную систему с большой массой, то потеря кинетической энергии при ударе плода в таре выразится как

$$\Delta T = T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} V_{\text{п}}^2 - \frac{1}{2} m_{\text{п}} U_{\text{п}}^2, \quad (1)$$

где  $T_0$ ,  $T$  – кинетическая энергия системы плод – тара соответственно в начале и конце удара, Дж;  $V_{\text{п}}$  и  $U_{\text{п}}$  – скорость плода соответственно в начале и конце удара, м/с.

Коэффициент восстановления  $K$  при частично упругом ударе связан соотношением

$$K = U_{\text{п}} / V_{\text{п}}. \quad (2)$$

С учетом формулы (1) выражение (2) примет вид

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} V_{\text{п}}^2 (1 - K^2). \quad (3)$$

Падение плода с транспортера аналогично падению брошенного тела. Решая задачу падения брошенного тела, получим формулу для определения скорости плода в момент удара, т.е.

$$V_{\text{п}} = \sqrt{V_{\text{тр}}^2 + 2g \cdot h_{\text{пл}}},$$

где  $V_{\text{тр}}$  – скорость транспортера, м/с;  $h_{\text{пл}}$  – высота падения плода, м.

После постановки значения  $V_{\text{п}}$  в формулу (3) окончательно получим

$$T_0 - T = \frac{1}{2} m_{\text{п}} (V_{\text{тр}}^2 + 2g \cdot h_{\text{пл}}) (1 - K^2).$$

Из полученного уравнения следует, что скорость транспортера должна быть минимальной, чтобы уменьшить потерю энергии. Но при этом большая высота падения плода  $h_{\text{пл}}$ , зависящая от размеров тары, способствует приобретению плодами энергии выше допустимой. При падении плода под собственным весом скорость транспортера определяется выражением

$$V_{\text{тр}} = \sqrt{g \cdot r \cdot \cos \alpha},$$

где  $r$  – радиус барабана, м;  $\alpha$  – угол наклона транспортера, град.

Таким образом, очевидно, что даже при гравитационном отрыве плода от ленты транспортера потеря кинетической энергии при ударе яблок о дно ящика составляет примерно 0,36 Дж.

По данным А.В Четвертакова, допустимая кинетическая энергия при ударе яблок сорта Антоновка о деревянную поверхность составляет 0,074 Дж, а при ударе о яблоко 0,092 Дж [4]. Допустимая энергия значительно меньше потерянной, следовательно, все плоды получают повреждения. Опытами установлено, что при падении с транспортера в ящик и контейнер повреждается соответственно 82 и 97 % яблок.

Кроме того, скорость транспортера нельзя уменьшать до предельных значений, так как снизится его производительность и, следовательно, производительность всей машины.

Производительность и скорость транспортера связаны соотношением

$$Q = 3600F \cdot V_{\text{тр}} \cdot \rho,$$

где  $F$  – сечение транспортируемого материала, м<sup>2</sup>;  $\rho$  – насыпная масса материала, т/м<sup>3</sup>.

Из рассмотренного следует, что кинетическую энергию плода наиболее целесообразно уменьшать снижением высоты его падения или плавным опусканием. Это может быть обеспечено применением специальных устройств, не дающих возможности падающему плоду развивать кинетическую энергию, превышающую допустимую.

Особенно необходимы такие устройства при уборке плодов в контейнеры. В настоящее время известно сравнительно большое количество принципов, на которых основано действие устройств для гашения энергии. Однако в мировой практике пока еще нет способов наполнения тары, при которых полностью исключалось бы повреждение яблок.

Устройства для гашения энергии плодов можно разделить на две группы [4]. В устройствах первой группы (рис. 1) не изменяется их положение по высоте относительно транспортера, а по мере наполнения опускается ящик или контейнер. В устройствах второй группы (рис. 2) постоянное положение занимает тара, а приспособление для спуска плодов поднимается по мере наполнения ящика или контейнера.

Меньше других повреждают плоды устройства, изображенные на рис. 1, *ж* и 2, *а*, *б*.

В таких устройствах легче решается вопрос управления подъемом и опусканием. Однако такие устройства сложнее по конструкции, поэтому их применение наиболее целесообразно в улавливателях для уборки легкоповреждаемых плодов.

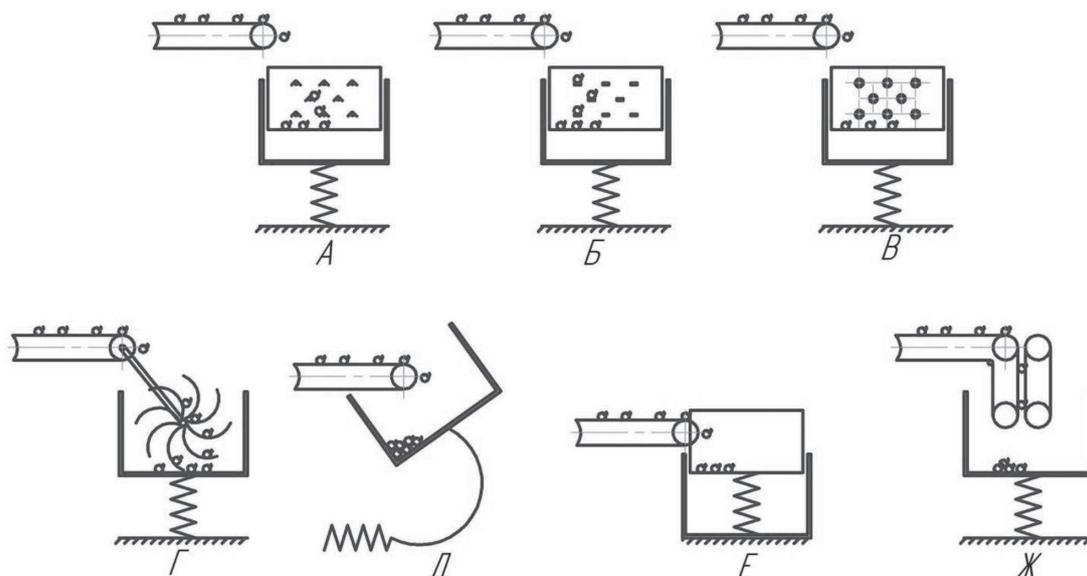


Рис. 1. Схемы устройств первой группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару: *а* – жесткий кожух с эластичными шарнирными клапанами; *б* – жесткий кожух с амортизирующими лентами; *в* – жесткий кожух с вращающимися эластичными вальцами; *г* – лопастная вертушка; *д* – телескопический подпружиненный кронштейн; *е* – контейнер с опускающимся дном; *ж* – парные параллельные транспортеры [4]

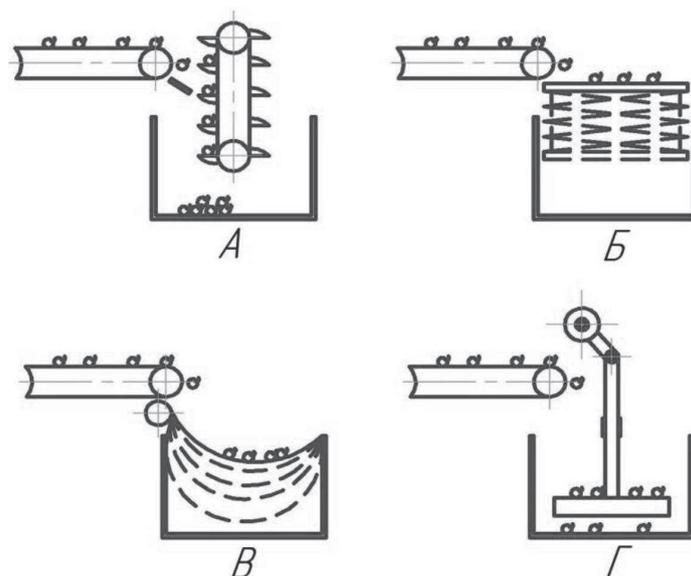


Рис. 2. Схемы устройств второй группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару [4]: *а* – ковшевый элеватор; *б* – полотняный мешок с пантографом; *в* – разматывающееся полотно; *г* – рамка с амортизирующими лентами

В то же время применение устройств первой группы потребует изготовления грузоподъемных устройств для подъема и опускания контейнера, который в загруженном состоянии имеет массу, достигающую 500 кг, что приведет к увеличению массы машины и её удорожанию.

Применение же грузочных транспортеров с устройствами подъема и опускания позволит минимизировать вес конструкции машины (рис. 2, *а*).

Очевидно, что именно эта схема является наиболее предпочтительной для применения в конструктивно-технологической схеме плодуборочного агрегата.

Однако в настоящее время остается нерешенным вопрос обеспечения полного заполнения контейнера плодами при механизированной их загрузке.

Стандартный контейнер для плодов семечковых культур, применяемый в Республике Беларусь, имеет следующие размеры: 1200×1000×840 мм. Его полный объем составляет 0,96 м<sup>3</sup>, полезный – 0,774 м<sup>3</sup>.

Плоды семечковых культур (яблоки и груши) содержат практически одинаковое количество сухих веществ, но внутритканевые газы яблок составляют 1/4 часть их объема, а в грушах 1/10 – груши имеют более плотные ткани. Благодаря этому плотность яблок составляет 0,8–0,9 г/см<sup>3</sup>, а груш – 1–1,2 г/см<sup>3</sup>. При этом насыпная масса яблок составляет 520–550 кг/м<sup>3</sup>, а груш – 650–700 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, в стандартном плодовом контейнере при полной загрузке помещается 386–409 кг яблок и 484–521 кг груш.

Легко убедиться, что полной загрузки контейнера плодами можно добиться только при ручной их укладке. При осуществлении механизированной или полумеханизированной уборки плодов, когда функцию загрузки плодов в контейнер осуществляет транспортер, степень его загрузки будет уменьшаться.

Так, высыпаемые в контейнер плоды (яблоки) будут под воздействием силы трения образовывать конус высотой с полную высоту внутреннего пространства контейнера.

Объем, занятый плодами, для данного случая равен

$$V_k = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot H_{\text{п}} = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot H_{\text{п}}$$

Так как  $H_{\text{п}} = R \cdot \text{tg}\varphi$  и  $\text{tg}\varphi = \frac{H_{\text{п}}}{R}$ , то

$$V_k = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot R \cdot \text{tg}\varphi = \frac{1}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \text{tg}\varphi,$$

где  $R$  в данном случае будет составлять половину малой стороны контейнера.

Следовательно, объем контейнера, заполненный плодами, составит 0,11 м<sup>3</sup> (рис. 3). То есть при таком способе контейнер будет заполнен только на 15 %, а дальнейшее заполнение потребует вмешательства ручного труда для разравнивания образовавшегося конуса, что, в свою очередь, приведет к дополнительному травмированию плодов. Кроме того, такое вмешательство в работу ручного труда не соответствует самой идее минимизации участия человека в технологическом процессе сбора плодов.

В реальной плодуборочной машине заполнение контейнера плодами будет происходить по определенному фронту, равному ширине загрузочного конвейера  $b_{\text{тр}}$ . В таком случае поступающие плоды будут распределяться неравномерно и хаотично. В таком случае, очевидно, контейнер необходимо вращать. Это позволит обеспечить равномерное заполнение и предотвратить излишнее травмирование плодов.

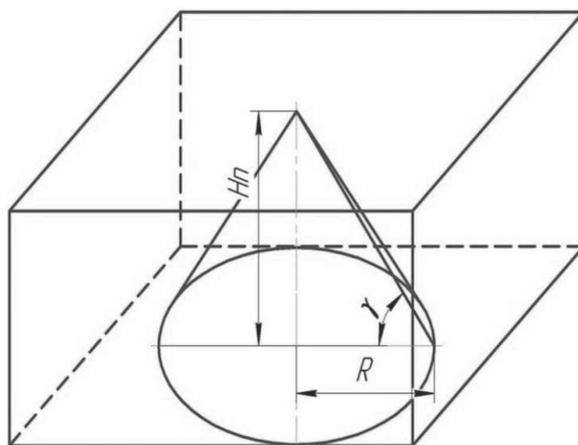


Рис. 3. К определению степени заполнения плодами неподвижного контейнера

В таком случае при заполнении контейнера будет образовываться усеченный конус из плодов с диаметром верхнего основания, равным  $b_{\text{тр}}$  (рис. 4).

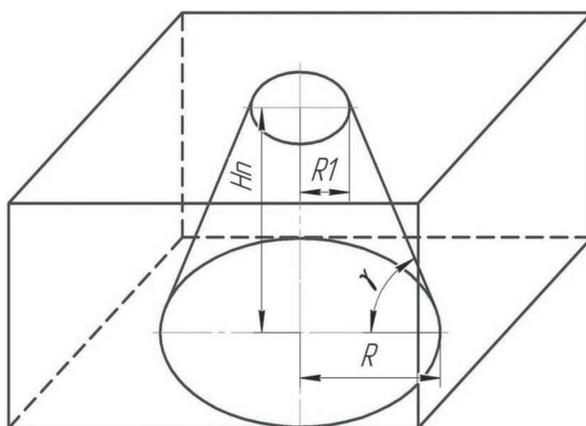


Рис. 4. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера от транспортера шириной  $b_{\text{тр}}$

Объем, занятый плодами, в таком случае определяется выражением

$$V_{\text{к}} = \frac{1}{3} \pi \cdot H_{\text{п}} (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2),$$

где  $R_1$  – радиус нижнего основания, м;  $R_2$  – радиус верхнего основания, м.

В таком случае контейнер можно будет заполнить на 34 %, что также является неудовлетворительным результатом.

Очевидно, для повышения степени заполнения контейнера необходимо сместить ось вращения контейнера относительно расположения загрузочного транспортера таким образом, чтобы максимально отдалить его от центра контейнера.

При работе такого устройства плоды будут выгружаться из окна выгрузного транспортера и заполнять свободное пространство контейнера. Для определения степени заполнения контейнера плодами определим объемы полостей, не заполненных плодами. Из рис. 5 видно, что объемы полостей, не заполненных плодами, можно разделить на три части  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$ .

Общий же объем полостей, не заполненных плодами, определяется выражением:

$$V_{\text{пол}} = 4V_1 + 2V_2 + V_3.$$

При этом объем  $V_2$  представляет собой призму с треугольным основанием, а  $V_3$  – конус, значение которых можно определить выражениями

$$V_2 = \frac{a \cdot b}{2} l_{\text{к}},$$

где

$$a = b \cdot \text{tg} \gamma, \quad b = \frac{l_{\text{к}} - 2 \cdot b_{\text{тр}}}{4}.$$

Из чего получаем, что

$$V_2 = \frac{(l_{\text{к}}^2 - 4l_{\text{к}} \cdot b_{\text{тр}} + 4b_{\text{тр}}^2) \text{tg} \gamma}{32} \cdot l_{\text{к}}.$$

Объем полости  $V_3$  определяется выражением

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left( \frac{l_{\text{к}} - 2b_{\text{тр}}}{4} \right)^3 \cdot \text{tg} \gamma.$$

Объем полости  $V_1$  можно определить выражением:

$$V_1 = \frac{c^2 \cdot a}{16} - \frac{\pi \cdot a}{12} \times \left( \frac{c^2}{4} + \frac{c^2}{2} - \frac{c^2 \cdot h}{4} \operatorname{ctg} \varphi + \frac{c^2}{4} - c \cdot a \cdot \operatorname{ctg} \varphi + a^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi \right),$$

где

$$c = \sqrt{\left(\frac{l_{\text{к}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_{\text{к}}}{2}\right)^2}.$$

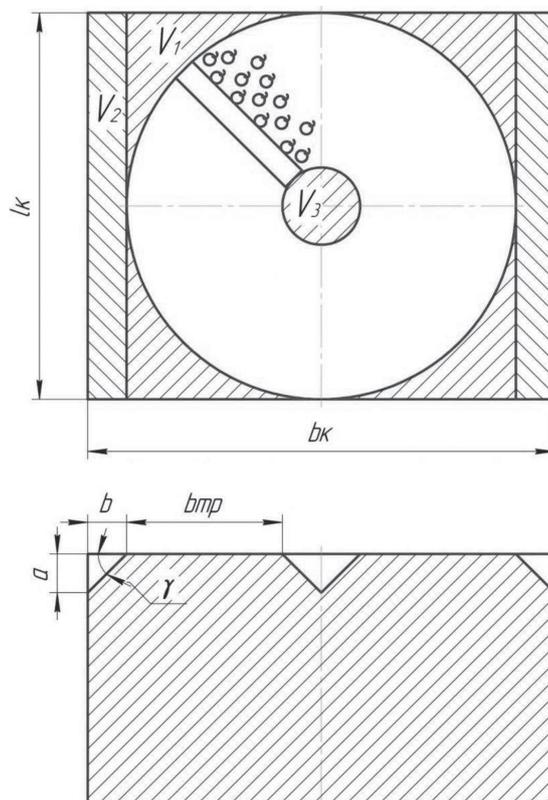


Рис. 5. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера со смещенной осью вращения

Преобразуя, получим

$$V_1 = \frac{c^2 \cdot a}{16} - \frac{\pi \cdot a}{12} \times \left( \frac{3c^2}{4} - \frac{3c \cdot a}{2} \operatorname{ctg} \varphi + a^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi \right).$$

Из приведённого ясно, что параметры объемов  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$  в значительной мере зависят от ширины транспортера  $b_{\text{тр}}$ , так как размеры контейнера постоянны и неизменны, как и угол естественного откоса яблок.

Максимальное значение ширины транспортера может составлять

$$b_{\text{тр}} = \frac{l_{\text{к}}}{2}.$$

При этом  $V_3 = 0$ .

В таком случае степень заполнения контейнера составит 86%.

Полученные результаты работы были использованы при разработке агрегата самоходного универсального для сбора плодов и формирования кроны семечковых культур АСУ-6, разработка которого осуществлялась в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Экспериментальные исследования агрегата, проведенные в садах РУП «Институт плодородства» (пос. Самохваловичи), подтвердили правильность теоретических выкладок. Так, при работе машины степень загрузки контейнера составляла 84–92 %, а повреждение плодов не превышало 1 %.

### Заключение

1. Анализ конструкций и принципов функционирования загрузочных устройств плодов в контейнеры позволил установить рациональную конструкцию загрузочного устройства стола с вращающимся основанием и загрузочным транспортером с лифтовым устройством, смещенным относительно центра вращения основания.

2. Ширина транспортера должна составлять половину ширины контейнера или 0,5 м, а расстояние от центра вращения контейнера до центра транспортера должно составлять 0,25 м. При этом обеспечивается степень загрузки контейнера плодами не менее 86 %.

3. Экспериментальные исследования устройства для механизированной загрузки плодов в контейнеры в составе агрегата АСУ-6 подтвердили правильность теоретических предпосылок, обеспечив загрузку контейнера плодами в 84–92 % и повреждение не более 1 %.

### Список использованных источников

1. Варламов, Г. П. Машины для уборки фруктов / Г. П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
2. Юрин, А. Н. Механизация трудоемких процессов в садоводстве / А. Юрин, Д. Жданко // Наука. – 2016. – 15 февр. – С. 4.
3. Новые технологии и технические средства для механизации работ в садоводстве / В. Ф. Воробьев [и др.]; под общ. ред. М. И. Куликова. – М.: Росинформагротех, 2012. – 164 с.
4. Машины для формирования кроны и уборки урожая плодовых культур / Г. П. Варламов: [и др.]. – М., «Машиностроение», 1975. – 206 с.
5. Phil Brown Welding Corp. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://philbrownwelding.com/index.php/new-products>. – Date of access: 17.07.2020.
6. FRUMACO Europe srl. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.frumacoeurope.eu/Apps/WebObjects/RFrumaco.woa/wa/viewFile?id=304&lang=eng>. – Date of access: 17.07.2020.
7. Munckhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.munckhof.org/machine/pluko-trak-senior/>. – Date of access: 17.07.2020.
8. N. BLOSI Manufacturers of agricultural machinery [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.nblo.si.com/en/harvesting\\_conveyor/harvesting\\_conveyor.php](http://www.nblo.si.com/en/harvesting_conveyor/harvesting_conveyor.php). – Date of access: 17.07.2020.
9. Feucht fruit technology [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.feucht-obsttechnik.de/en/fruit-harvesting-technology/fruit-harvesting-machines.html>. – Date of access: 17.07.2020.

УДК 631.348

Поступила в редакцию 19.10.2022  
Received 19.10.2022

**А. Н. Юрин**

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

### **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТУННЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ШАТРОВОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В данной статье представлено обоснование конструктивно-технологической схемы туннельного устройства шатрового опрыскивателя и основных его конструктивных параметров.

*Ключевые слова:* туннельное устройство, шатровый опрыскиватель, диффузор, воздушный поток, вентилятор, раствор препарата.