

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ ПЛОДАМИ ПРИ ИХ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УБОРКЕ

**П.П. Казакевич,**

заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. НАН Беларуси

**А.Н. Юрин,**

зав. лабораторией механизации возделывания плодовых и овощных культур РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

**В.В. Викторovich,**

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

**В.П. Чеботарёв,**

зав. каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

**А.Д. Чечеткин,**

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

*В статье 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 плодов и его параметров, обеспечивающих минимальное повреждение и максимальную загрузку контейнера плодами при уборке без участия человека.*

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

*The article considers the process of loading apples into containers during mechanized harvesting of dessert fruits intended for long-term storage. In order to improve the quality of harvesting and ensure that fruit damage is reduced, the study of the design and technological scheme of the loading device and its parameters was carried out. It ensures minimal damage and maximum loading of the container with fruits during harvesting without human participation.*

*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, которая во многом определяет 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 снижению издержек на 10-20 % [5-9].

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

При этом, обоснования конструктивных параметров и режимов работы данных машин до настоящего времени не проведено, что не позволяет в полной мере реализовать потенциал повышения произ-

водительности их труда в конкретных природно-климатических условиях.

Цель работы – повышение качества механизированной уборки плодов и обеспечение максимальной загрузки контейнера плодами без участия человека.

### Основная часть

Объектом исследований являлись механизированные средства для уборки плодов. При исследовании применялись абстрактно-логический и расчетно-конструктивный методы.

Собранные сборщиками плоды необходимо доставлять к таре и укладывать в нее. Это осуществляется транспортировкой их посредством ленточных транспортеров с поперечными планками или без них.

Самым рациональным способом транспортирования плодов от места сбора к месту упаковки является доставка их транспортерами. При этом скорость транспортера должна быть такой, чтобы обеспечивалась подача и спуск плодов в тару с минимальным количеством повреждений. Плоды, падающие с транспортера, уда-

ряются о дно тары или слой плодов, находящийся 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.

$$v_{\text{п}} = \sqrt{v_{\text{тр}}^2 + 2g \cdot h_{\text{пл}}}, \quad (4)$$

где  $v_{\text{тр}}$  – скорость транспортера, м/с;

$h_{\text{пл}}$  – высота падения плода, м.

После постановки значения  $v_{\text{п}}$  в формулу (4) 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 кинети-

ческой 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:

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

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 возможность 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

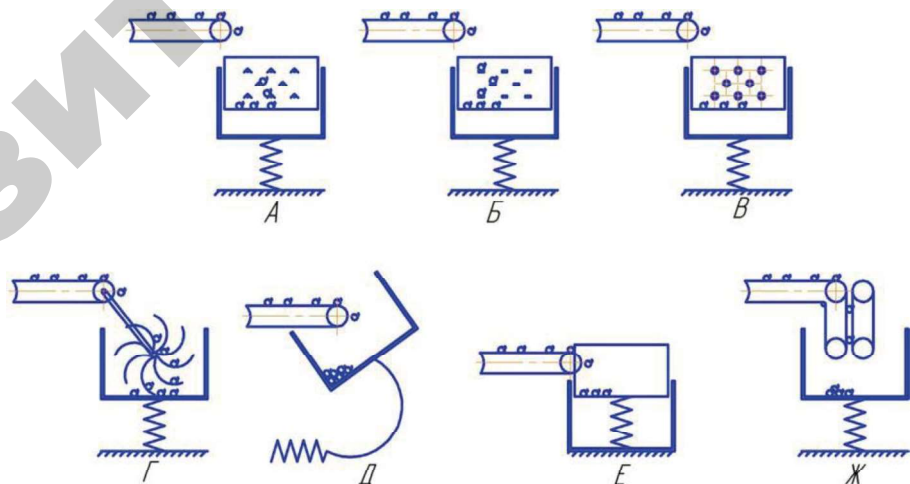


Рисунок 1. Схемы устройств первой группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару [4]: А – жесткий кожух с эластичными шарнирными клапанами; Б – жесткий кожух с амортизирующими лентами; В – жесткий кожух с вращающимися эластичными вальцами; Г – лопастная вертушка; Д – телескопический подпружиненный кронштейн; Е – контейнер с опускающимся дном; Ж – парные параллельные транспортеры

– 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.

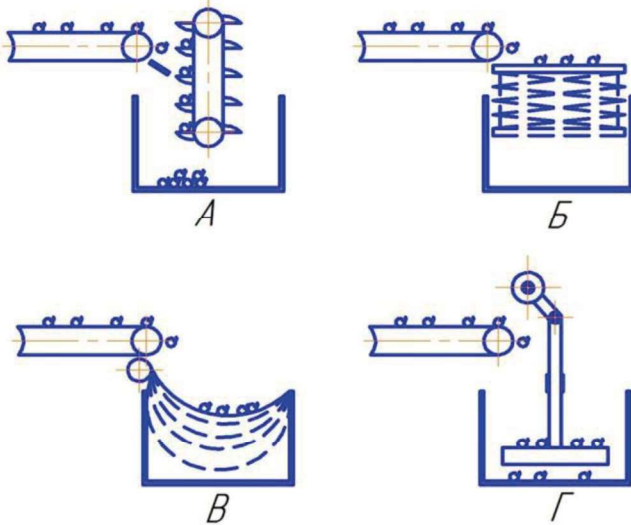


Рисунок 2. Схемы устройств второй группы для гашения кинетической энергии при падении плодов с транспортера в тару [4]: А – ковшовый элеватор; Б – полотняный мешок с пантографом; В – разматывающееся полотно; Г – рамка с амортизирующими лентами

Меньше других повреждают плоды устройства, изображенные на рисунках 1Ж и 2А, Б. В таких устройствах легче решается вопрос управления подъемом и опусканием. Однако эти устройства сложнее по конструкции, поэтому их применение наиболее целесообразно в улавливателях для уборки легкоповреждаемых плодов.

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 ее удорожанию.

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

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 яб-

лок 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 помещается 386-409 кг яблок при полной загрузке 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:

$$V_k = \frac{1}{3} S_{\text{осн}} \cdot H_{\text{п}} = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot H_{\text{п}} \quad (5)$$

так как  $H_{\text{п}} = R \cdot \text{tg } \gamma$

и  $\text{tg } \gamma = \frac{H_{\text{п}}}{R}$ , то

$$V_k = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot R \cdot \text{tg } \gamma = \frac{1}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \text{tg } \gamma, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус основания конуса плодов (составляет половину малой стороны контейнера), м;

$\gamma$  – угол естественного откоса плодов, град.;

$S_{\text{осн}}$  – площадь основания конуса плодов, м<sup>2</sup>;

$H_{\text{п}}$  – высота конуса плодов, м.

Следовательно, объем контейнера, заполненный плодами, составит 0,11 м<sup>3</sup>. 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. И, очевидно, что контейнер необходимо будет вращать. Это позволит обеспечить равномерное заполнение и предотвратить излишнее травмирование плодов (рис. 3).

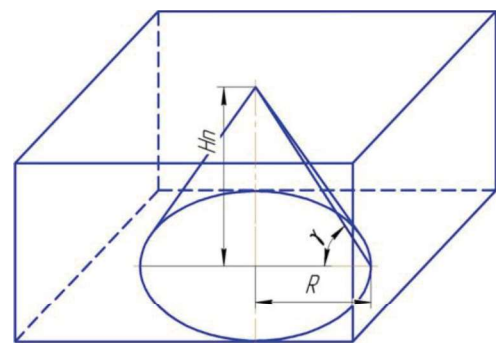


Рисунок 3. К определению степени заполнения плодами неподвижного контейнера

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

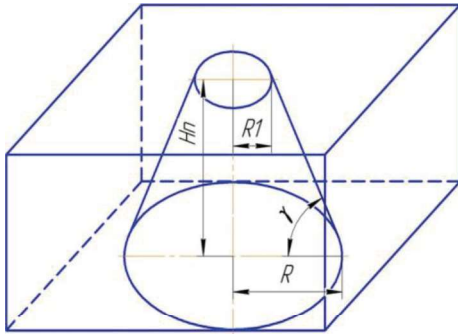


Рисунок 4. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера от транспортера шириной  $b_{тр}$

Объем, занятый плодами, в таком случае определяется выражением:

$$V_k = \frac{1}{3} \pi \cdot H_{п} (R_1^2 + R_1 \cdot R_2 + R_2^2), \quad (7)$$

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 рисунка 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:

$$V_{пол} = 4V_1 + 2V_2 + V_3. \quad (8)$$

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

$$V_2 = \frac{a \cdot b}{2} l_k;$$

где

$$a = b \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (9)$$

$$b = \frac{l_k - 2 \cdot b_{тр}}{4},$$

где  $b_{тр}$  – ширина загрузочного транспортера, м;  
 $l_k$ ,  $b_k$  – длина и ширина контейнера, м.

Из чего получаем:

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

Объем полости  $V_3$  определяется выражением:

$$V_3 = \frac{\pi}{3} \left( \frac{l_k - 2b_{тр}}{4} \right)^3 \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (10)$$

Объем полости  $V_1$  можно определить выражением:

$$V_1 = \frac{c^2 \cdot a}{16} - \frac{\pi \cdot a}{12} \times \left( \frac{c^2}{4} + \frac{c^2}{2} - \frac{c^2 \cdot h}{4} \operatorname{ctg} \gamma + \frac{c^2}{4} - c \cdot a \cdot \operatorname{ctg} \gamma + a^2 \operatorname{ctg}^2 \gamma \right), \quad (11)$$

где

$$c = \sqrt{\left( \frac{l_k}{2} \right)^2 + \left( \frac{b_k}{2} \right)^2}.$$

Преобразуя, получим

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

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

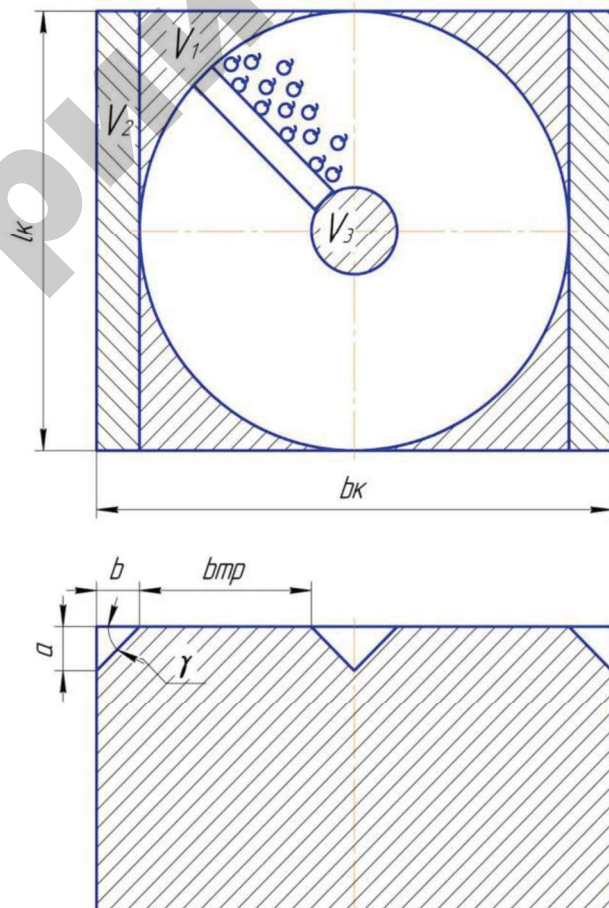


Рисунок 5. К определению степени заполнения плодами вращающегося контейнера со смещенной осью вращения

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 плодородия» (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 предположений, 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.Н. Юрин // Наука. – 2016. – 15 февраля. – 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.: Росинформ-агротех, 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. Munchhof Fruit Tech Innovators [Electronic resource]: Mode of access: <https://www.munchhof.org/machine/pluk-o-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.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.07.2020

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

**Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).**

**Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.**

**Стоимость подписки на 2-е полугодие 2020 года: для индивидуальных подписчиков - 25,77 руб., ведомственная подписка - 28,02 руб.**