

УДК 631.37

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТРОЙСТВА С ДЕМПИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЯБЛОК**

Усольцев Александр Александрович  
аспирант  
E-mail: duke001@yandex.ru

Ерохин Алексей Владимирович  
к.т.н., доцент кафедры автотракторной техники и теплоэнергетики  
SPIN-код: 1956-9424  
E-mail: ERAL@rambler.ru

Тетерина Ольга Анатольевна  
к.т.н., доцент кафедры организации транспортных процессов и безопасности жизнедеятельности  
SPIN-код: 6528-3848  
E-mail: olia.teterina@mail.ru  
*ФГБОУ ВО РГАТУ им П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Подьяблонский Алексей Валерьевич  
преподаватель кафедры тылового обеспечения уголовно-исполнительной системы  
SPIN-код: 6329-1063  
E-mail: [podyablonskiy62@mail.ru](mailto:podyablonskiy62@mail.ru)  
*Академии ФСИН России, Рязань, Россия*

При возделывании сельскохозяйственных культур важно не только вырастить качественный и полезный продукт, но и доставить его до конечного потребителя в приемлемом виде. При получении механических повреждений стоимость товара существенно снижается. В результате чего эффективность производства данной сельскохозяйственной культуры может выйти на уровень рентабельности или в самом негативном случае – убыточности. Следовательно, научные исследования, направленные на предотвращение данного негативного явления являются перспективными в настоящее время. Согласно статистическим данным, преобладающее большинство грузов перевозится навалом (насыпью). В остальных случаях может быть использована транспортная тара. В большинстве случаев применяются различные контейнера, ящики и ящичные поддоны. При этом проблема получения плодами механических повреждений в процессе транспортировки решается частично. Так как основными материалами изготовления тары являются: дерево, пластик, металл, то этот факт не

UDC 631.37

05.20.01 - Agricultural mechanization technologies and tools (technical sciences)

**ANALYSIS OF THE RESULTS OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE DEVICE WITH DAMPING MATERIAL FOR THE TRANSPORTATION OF APPLES**

Usoltsev Alexander Alexandrovich  
graduate student  
E-mail: duke001@yandex.ru

Erokhin Alexey Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor of the department of automotive engineering and thermal power engineering, RSCI SPIN-code 1956-9424  
E-mail: ERAL@rambler.ru

Teterina Olga Anatolyevna  
Cand.Tech.Sci., associate professor of the department of organization of transport processes and life safety  
RSCI SPIN-code: 6528-3848  
E-mail: olia.teterina@mail.ru  
*Kostychev State Agrotechnological University, Ryazan, Russia*

Podiablonsky Alexey Valerievich  
lecturer of the department of logistics of the penal enforcement system  
RSCI SPIN-code 6329-1063  
E-mail: [podyablonskiy62@mail.ru](mailto:podyablonskiy62@mail.ru)  
*Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia, Ryazan, Russia*

When cultivating agricultural crops, it is important not only to grow a high-quality and useful product, but also to deliver it to the consumer in an acceptable form. When receiving mechanical damage, the cost of the goods is significantly reduced. As a result, the production efficiency of this crop can reach the level of profitability or, in the most negative case, unprofitability. Consequently, scientific research aimed at preventing this negative phenomenon is promising at the present time. According to statistics, the vast majority of goods are transported in bulk. In other cases, transport containers can be used. In most cases, various containers, boxes and box pallets are used. At the same time, the problem of obtaining mechanical damage by fruits during transportation is partially solved. Since the main materials for the manufacture of containers are: wood, plastic, metal, this fact does not contribute to solving the problem. The most promising direction of reducing damage to fruit and vegetable products during transportation is the use of damping materials in the construction of containers and boxes. The article presents theoretical studies of the process of transporting agricultural

способствует решению проблемы. Наиболее перспективным направлением снижения повреждений плодоовощной продукции при транспортировке использование в конструкции контейнеров и ящиков демпфирующих материалов. В статье приведены теоретические исследования процесса перевозки сельскохозяйственной продукции в таре. Рассмотрена перспективная конструкция контейнера для яблок. Проведены его лабораторные испытания на яблоках сорта «Антоновка» с целью подтверждения его эффективности

Ключевые слова: ТРАВМИРОВАНИЕ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ПРОДУКЦИЯ, ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ, ТРАНСПОРТИРОВКА, ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ, ПРИЦЕП, УСТОЙЧИВОСТЬ, ДЕМПИРУЮЩИЙ

products in containers. The article also considers perspective design of the container for apples. Its laboratory tests were carried out on apples of the «Antonovka» variety in order to confirm its effectiveness

Keywords: DAMAGE, AGRICULTURAL PRODUCTS, TRANSPORTATION, HORIZONTAL VIBRATIONS, VERTICAL VIBRATIONS, TRAILER, STABILITY, DAMPING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-177-008>

Важнейшей характеристикой яблок, влияющей на сохранность при транспортировке, является стойкость к механическим повреждениям, вызванным статическими и динамическими нагрузками [1].

Установлено, что с увеличением амплитуды и частоты соударений упругие свойства яблок снижаются и как следствие возрастает риск их повреждения при транспортировке [2, 3].

При движении ТС яблоки в таре выходят из состояния равновесия, вследствие чего возникает их вибрация [4]. Для определения условий, вызывающих данный процесс, представим перевозимый ворох как сыпучую среду и построим соответствующую модель.

В сыпучей среде выделим треугольную пирамиду с высотой  $O_a$  и основанием  $O_{bc}$  (рисунок 1) таким образом, чтобы ребра  $O_a$ ,  $O_b$  и  $O_c$  совпали с главными осями напряженного состояния. Напишем уравнение проекций действующих сил на нормаль к площадке  $abc$  (площадь граней обозначена буквами, стоящими в скобках) для определения нормального и касательного напряжений на площадке  $abc$  (нормаль к данной площадке составляет с осями  $XYZ$  углы  $\alpha_5$ ,  $\alpha_4$ ,  $\alpha_3$ ):

$$(abc)\sigma = (O_{bc})\sigma_1 \cos\alpha_3 + (O_{ac})\sigma_2 \cos\alpha_4 + (O_{ab})\sigma_3 \cos\alpha_5 \quad (1)$$

<http://ej.kubagro.ru/2022/03/pdf/08.pdf>

где:  $\sigma$  – нормальное напряжение к площадке  $abc$ , Па;  
 $\sigma_1$  – величина нормального напряжения к плоскости  $O_{bc}$ , Па;  
 $\sigma_2$  – величина нормального напряжения к плоскости  $O_{ac}$ , Па;  
 $\sigma_3$  – величина нормального напряжения к плоскости  $O_{ab}$ , Па.  
 $\alpha_3$  – угол между вектором  $\sigma$  и осью  $Z$ , рад;  
 $\alpha_4$  – угол между вектором  $\sigma$  и осью  $Y$ , рад;  
 $\alpha_5$  – угол между вектором  $\sigma$  и осью  $X$ , рад.

$\sigma$  – нормальное напряжение к площадке  $abc$ , Па;  $\sigma_1$  – нормальное напряжение к плоскости  $O_{bc}$ , Па;  $\sigma_2$  – нормальное напряжение к плоскости  $O_{ac}$ , Па;  $\sigma_3$  – нормальное напряжение к плоскости  $O_{ab}$ , Па;  $\alpha_3$  – угол между нормальным напряжением  $\sigma$  и осью  $Z$ , рад;  $\alpha_4$  – угол между нормальным напряжением  $\sigma$  и осью  $Y$ , рад;  $\alpha_5$  – угол между нормальным напряжением  $\sigma$  и осью  $X$ , рад.

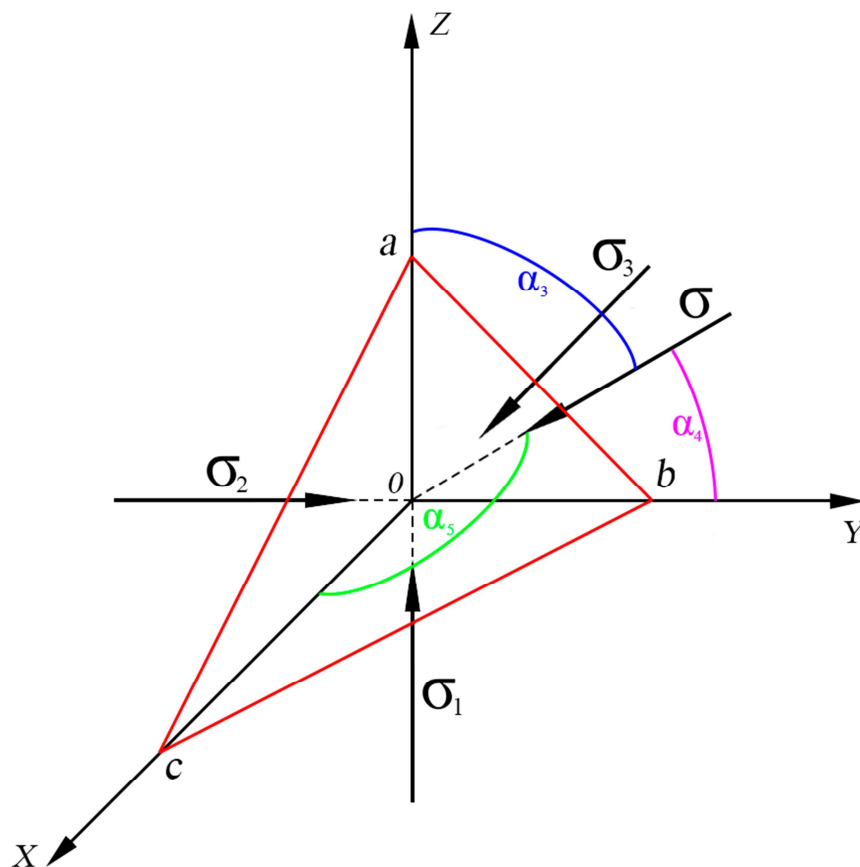


Рисунок 1 - Схема сил, действующих на элементарную пирамиду

Учитывая, что:

$$\begin{cases} (O_{bc}) = (abc) \cos \alpha_3 \\ (O_{ac}) = (abc) \cos \alpha_4 \\ (O_{ab}) = (abc) \cos \alpha_5 \end{cases} \quad (2)$$

величина нормального напряжения будет равна:

$$\sigma = \sigma_1 \cos^2 \alpha_3 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_4 + \sigma_3 \cos^3 \alpha_5 \quad (3)$$

Касательное напряжение на площадке  $abc$  равно:

$$\tau = \sqrt{\rho^2 - \sigma^2} \quad (4)$$

где  $\rho$  – полное напряжение на площадке  $abc$ .

Вектор полного усилия, которое приходится на площадке  $abc$ , будет равен диагонали параллелограмма со сторонами  $(O_{bc})\sigma_1$ ,  $(O_{ac})\sigma_2$ ,  $(O_{ab})\sigma_3$ , тогда:

$$(abc)^2 \cdot \rho^2 = (O_{bc})^2 \sigma_1^2 + (O_{ac})^2 \sigma_2^2 + (O_{ab})^2 \sigma_3^2 \quad (5)$$

Или совершив преобразования:

$$\rho^2 = \sigma_1^2 \cos^2 \alpha_3 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_4 + \sigma_3^2 \cos^3 \alpha_5 \quad (6)$$

Углы  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$  и  $\alpha_5$  связаны зависимостью:

$$\cos^2 \alpha_3 + \cos^2 \alpha_4 + \cos^3 \alpha_5 = 1 \quad (7)$$

Определив  $\sigma$  и  $\rho$ , находим величину касательного напряжения  $\tau$ .

Равновесие сыпучего тела определяется следующими условиями:

$$\begin{cases} \sum F_x + \sum \sigma_x + \sum \tau_x \\ \sum F_y + \sum \sigma_y + \sum \tau_y \\ \sum F_z + \sum \sigma_z + \sum \tau_z \end{cases} \quad (8)$$

где:  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  – проекция на произвольные оси координат  $x, y, z$  объемных сил, приложенных к частицам сыпучего тела, сумма которых определяется как:

$$\Sigma F_x = \Sigma(g + j_x)$$

$$\Sigma F_y = \Sigma(g + j_y)$$

$$\Sigma F_z = \Sigma(g + j_z)$$

$j_x, j_y, j_z$  – проекции единичных сил инерции на оси координат  $XYZ$ ,  
 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  – проекции нормальных напряжений, действующих по поверхности сыпучего тела;

$\tau_x, \tau_y, \tau_z$  – проекции касательных напряжений, действующих по той же поверхности;

Принимая во внимание, что тара с грузом совершает колебания в вертикальном направлении, то смоделируем условие нарушения равновесия яблок в контейнере по принципу плоской задачи.

Равновесие сыпучей среды нарушится, если на любой элементарной площадке (рисунок 2) внутри этой среды будет выполнено условие:

$$\tau_1 > \pm f(\sigma), \tag{9}$$

где  $\tau_1$  – касательное напряжение внутри сыпучей среды, Па;

$\sigma$  – касательное напряжение, Па;

$f(\sigma)$ , – непрерывная возрастающая функция.

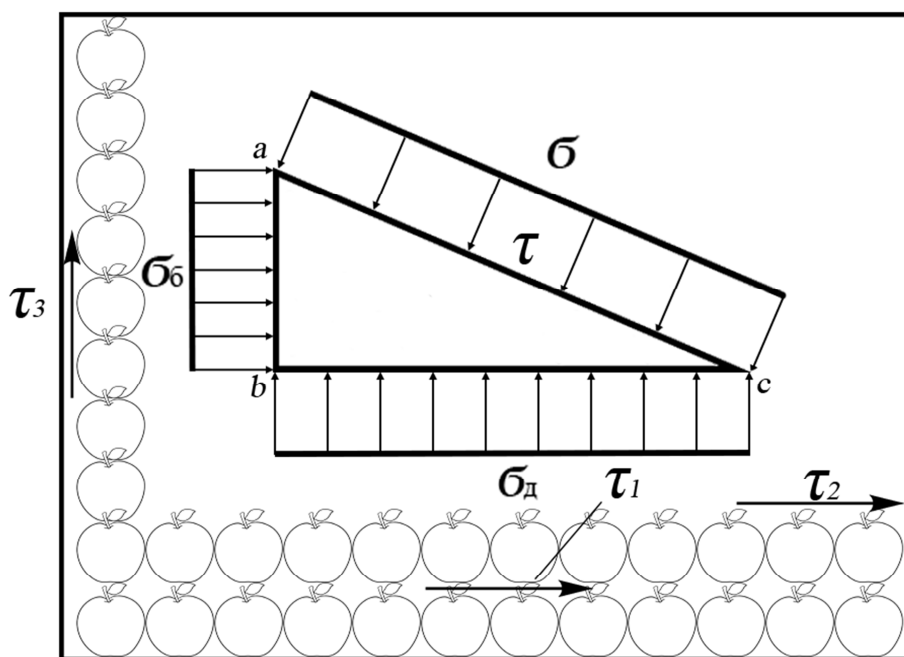


Рисунок 2 – Схема равновесия элементарной призмы.

На свободной поверхности плодов должно соблюдаться условие:

$$\tau_2 > 0, \tag{10}$$

где:  $\tau_2$  – касательное напряжение на свободной поверхности яблоч, Па.

При соприкосновении яблоч со стенками транспортной тары необходимо соблюдение следующего условия:

$$\tau_3 > \eta \cdot \sigma, \quad (11)$$

где:  $\tau_3$  – касательное напряжение у стенок контейнера, Па;

где  $\eta$  – коэффициент трения сыпучего тела о стенки тары.

Сделаем допущение для дальнейших вычислений, что нормальное напряжение сжатия будет являться давлением.

Выразим коэффициент бокового давления через следующее отношение:

$$n_6 = \frac{\sigma_6}{\sigma_d} \quad (12)$$

где  $n_6$  – коэффициент бокового давления;

$\sigma_6$  – боковое давление, Па;

$\sigma_d$  – действующее давление в указанном направлении, Па.

Принимая во внимание, что соответствует минимальному значением коэффициенту бокового давления или:

$$K_n = n_{6.min} = \frac{\sigma_6}{\sigma_d} \quad (12)$$

где  $K_n$  – коэффициент подвижности.

Коэффициент подвижности определяется по формуле:

$$K_n = 1 + 2f_1^2 - 2f_1\sqrt{1 + f_1^2} \quad (13)$$

где  $f_1$  – коэффициент внутреннего трения.

При осуществлении внутрихозяйственных перевозок груз, находящийся в транспортной таре испытывает воздействие сил переменных во времени. В первую очередь это давление плодов на дно и стенки контейнера, а также виброускорение при наезде ТС на неровность дорожного полотна. Если проанализировать данный процесс на бесконечно малом временном отрезке то можно сделать допущение, что

ускорение постоянно. Тогда силу давления на плоды можно выразить следующим образом:

$$P_d = \frac{P_c(g+j)}{g} \quad (14)$$

где  $P_d$  – величина динамического усилия, Н;

$P_c$  – величина статического усилия, Н;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$j$  – величина виброускорения, м/с<sup>2</sup>.

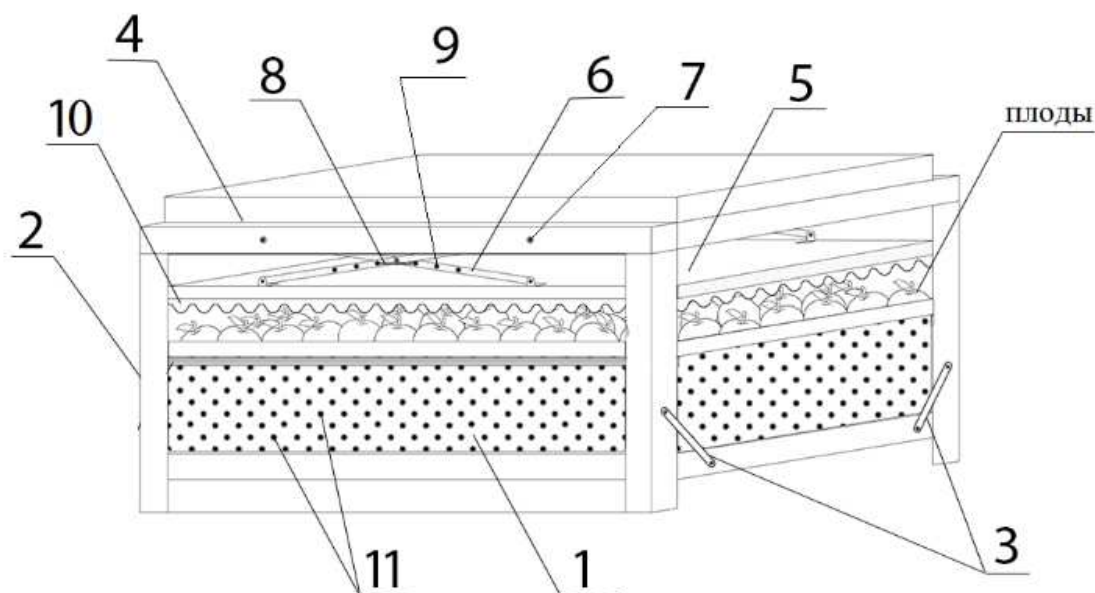
Для решения выявленной проблемы был разработан ряд устройств [5, 6, 7], одно из которых приведено на рисунке 3 [8]. Оно позволяет снизить количество плодов, которые получают механические повреждения при внутрихозяйственных перевозках за счет уменьшения их колебаний в транспортной таре. При этом устройство должно быть оснащено прижимной механизм, а днище покрыто демпфирующим материалом.

В данном контейнере снижение повреждений плодов достигается тем, что каркас контейнера включает фиксаторы и направляющие, пазы для штабелирования и прижимную крышку, поверхность которой, контактирующей с плодами, выполнена из нежесткого материала волнообразного профиля, а на дне и стенках контейнера также установлен нежесткий материал, обладающий демпфирующими свойствами и имеющий волнообразный профиль. При этом фиксация плодов осуществляется с помощью прижимного механизма ножничного типа с фиксатором, выполненным в виде штока.

Для определения количества плодов, которые могут получить механические повреждения в процессе их перевозки контейнерным способом, был спланирован лабораторный эксперимент. Суть исследований заключалась в установлении взаимосвязи между вибрацией груза в транспортной таре и уровня травмирования груза.

Для определения скорости движения транспортного средства

использовался тахоспидометр [9]. Время испытания регистрировалось с помощью секундомера. При исследовании микропрофиля междурядий использовались нивелир SOKKIA C410, линейка и слесарная рулетка с ценой деления 1мм. Методика влияния и воздействия вибрации на повреждения плодов в таре при помощи имитации движения ТС и используемое оборудование.



1 – контейнер; 2 – каркас; 3 – фиксаторы; 4 – пазы; 5 – крышка; 6 - прижимной механизм; 7 – шпилька; 8 – шток; 9 – отверстие; 10 - демпфирующий материал; 11 - вентиляционные отверстия.

Рисунок 3 – Схема разработанного устройства для перевозки яблок

Последовательно были испытаны серийный ящик из полимерного материала с крышкой и макет запатентованной конструкции транспортной тары.

В качестве объекта исследований были выбраны яблоки сорта «Антоновка».

В 1-й ящик (серийный образец транспортной тары) заложили 74 плода, во 2-й (макет разработанной транспортной тары) – 56. Условия проведения испытаний приведены в таблице 1.



После этого плоды были заложены на четырехдневное хранение (в таре).

Таблица 1 - Параметры проведения испытаний представлены в таблице

Частота колебаний вибростенда, Гц	Величина виброскорости стенда, м/с	Время воздействия, с
8	3,0	240

По истечении установленного периода плоды были изъяты из испытываемой тары. Оценка состояния яблок проводили в соответствии с методикой, приведенной в нормативной документации (ГОСТ 34314-2017).

Результаты испытаний, позволили сделать вывод, что предложенная конструкция устройства обеспечивает существенное снижение количества поврежденной [10, 11] в процессе перевозки плодоовощной продукции.

### Список литературы

1. Адамовский, Э.В. Сохранность грузов при перевозке. Новое в жизни, науке и технике / Э.В. Адамовский // Транспорт. – 1988. - №4 – С. 63.
2. Increasing the Safety of Agricultural Products During Its Transportation and Unloading / Byshov N.V. and other // (2018) ACM International Conference Proceeding Series, pp. 176-179.
3. Intra-farm transportation of easily damaged agro food products for sustainable development of agricultures / S N Borychev et al 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 965. - 012048.
4. Верещагин Н.И. Динамические характеристики клубней картофеля / Н.И. Верещагин - Вестник ФГОУ ВПО МГАУ, №3, 2007 г., стр.69 – 76.
5. Пат. 2636569 Российская Федерация, МПК В65D 85/34; В65D 81/05. Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции / Юхин А.А., Бoryчев С.Н., Успенский И.А. [и др.]. – завл. № 2016120142 от 24.05.2016; опубл. 23.11.2017 бюл. № 33.
6. Пат. 191227 Российская Федерация, МПК В65D 8/14; G01N33/22. Устройство для транспортировки корнеклубнеплодов / Бoryчев С.Н., Бышов Н.В., Успенский И.А. [и др.]. - заявл. №2019116209 от 27.05.2019; опубл. 30.07.2019.
7. Пат. 166384 Российская Федерация, МПК В65D 85/34. Контейнер для перевозки плодоовощной продукции / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., Успенский И.А. [и др.]. - №2016115317/12; заявл. 19.04.2016; опубл. 20.11.2016.
8. Пат. 176885 Российская Федерация. Устройство для транспортировки легкоповреждаемой плодоовощной продукции / Бышов Н.В., Бoryчев С.Н., Креков

С.А. и др. – заявл. № 2017126554 от 24.07.2017; опублик. 31.01.2018.

9. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex/ N.V. Byshov et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 341 012145.

10. Снижение повреждений сельхозпродукции при транспортировке / Усольцев А.А., Панова А.А., Юхин И.А., Голиков А.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. Т. 13. № 3. С. 106-111.

11. Способ контроля скрытых повреждений клубней картофеля / Костенко М.Ю., Бышов Н.В., Бoryчев С.Н. [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №120. - С. 1166 – 1187.– Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/77.pdf>.

## References

1. Adamovskij, Je.V. Sohrannost' gruzov pri perevozke. Novoe v zhizni, nauke i tehnike / Je.V. Adamovskij // Transport. – 1988. - №4 – С. 63.

2. Increasing the Safety of Agricultural Products During Its Transportation and Unloading / Byshov N.V. and other // (2018) ACM International Conference Proceeding Series, pp. 176-179.

3. Intra-farm transportation of easily damaged agro food products for sustainable development of agricultures / S N Borychev et al 2022 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. - 965. - 012048.

4. Vereshhagin N.I. Dinamicheskie harakteristiki klubnej kartofelja / N.I. Vereshhagin - Vestnik FGOU VPO MGAU, №3, 2007 g., str.69 – 76.

5. Pat. 2636569 Rossijskaja Federacija, MPK B65D 85/34; B65D 81/05. Ustrojstvo dlja transportirovki legkopovrezhdaemoj plodoovoshhnoj produkcii / Juhin A.A., Borychev S.N., Uspenskij I.A. [i dr.]. – zavl. № 2016120142 ot 24.05.2016; opubl. 23.11.2017 bjul. № 33.

6. Pat. 191227 Rossijskaja Federacija, MPK B65D 8/14; G01N33/22. Ustrojstvo dlja transportirovki korneklubneplodov / Borychev S.N., Byshov N.V., Uspenskij I.A. [i dr.]. - zavl. №2019116209 ot 27.05.2019; opubl. 30.07.2019.

7. Pat. 166384 Rossijskaja Federacija, MPK B65D 85/34. Kontejner dlja perevozki plodoovoshhnoj produkcii / Byshov N.V., Borychev S.N., Uspenskij I.A. [i dr.]. - №2016115317/12; zavl. 19.04.2016; opubl. 20.11.2016.

8. Pat. 176885 Rossijskaja Federacija. Ustrojstvo dlja transportirovki legkopovrezhdaemoj plodoovoshhnoj produkcii / Byshov N.V., Borychev S.N., Krekov S.A. i dr. – zavl. № 2017126554 ot 24.07.2017; opubl. 31.01.2018.

9. Improving the performance parameters of vehicles for intrafarm transport in the agro-industrial complex/ N.V. Byshov et al 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 341 012145.

10. Snizhenie povrezhdenij sel'hozprodukcii pri transportirovke / Usol'cev A.A., Panova A.A., Juhin I.A., Golikov A.A. // Vestnik Rjazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2021. Т. 13. № 3. С. 106-111.

11. Sposob kontrolja skrytyh povrezhdenij klubnej kartofelja / Kostenko M.Ju., Byshov N.V., Borychev S.N. [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – №120. - С. 1166 – 1187.– Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/77.pdf>.