

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПУНКТИРНОГО ВЫСЕВА КАПСУЛИРОВАННЫХ СЕМЯН

---

**Владимир Васильевич Василенко**  
**Сергей Владимирович Василенко**  
**Ким Рубенович Казаров**  
**Виктор Васильевич Труфанов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Одним из перспективных направлений развития технологии посева не только сахарной свеклы, но и других пропашных культур является применение капсулированных семян. Капсула имеет диаметр от 20 до 30 мм и в отличие от драже содержит гораздо больше питательных, стимулирующих и защитных веществ. В связи с резким увеличением размера частиц посевного материала требуется определить тип высевочного аппарата и его конструктивные параметры. При высеве тяжелых капсул пневматическими аппаратами повышаются затраты энергии на создание вакуума с большим расходом воздуха, поэтому более предпочтительным будет использование аппарата с ячеистым диском. Важными конструктивными параметрами высевочного аппарата являются диаметр и глубина ячейки. Шарообразная форма капсулы требует, чтобы глубина ячейки была равна диаметру капсулы. Сложнее обстоит дело с выбором диаметра ячейки. При малом диаметре процесс заполнения осуществим только на малых скоростях вращения высевочного диска, а большой диаметр приводит к повреждению капсул при отражении от входа в ячейку другой капсулы. Теоретический анализ влияния диаметра капсул на размеры ячейки и на допустимую скорость перемещения капсулы по высевочному диску позволил определить, что капсулированные семена можно высевать ячеисто-дисковыми аппаратами со скоростью вращения диска, значительно превышающей этот параметр при высеве дражированных семян. Диаметр ячеек ограничивается условием защемления капсул, частично вошедших в ячейки, и линейно зависит от диаметра капсул. Для капсул диаметром от 10 до 30 мм рациональный диаметр ячеек находится в пределах от 12 до 46 мм. За счет увеличения разницы между диаметрами семени и ячейки можно высевать капсулированные семена размером 10–30 мм со скоростями дозирования, превышающими соответственно 0,22–0,56 м/с.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** капсула, ячеистый диск, ячейка, повреждение капсулы, заполнение ячеек, скорость вращения диска.

## SPECIFIC FEATURES OF SINGLE-GRAIN SOWING OF CAPSULATED SEEDS

**Vladimir V. Vasilenko**  
**Sergey V. Vasilenko**  
**Kim R. Kazarov**  
**Viktor V. Trufanov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

One of the prospective lines of development of sowing technology of sugar beet, as well as of the other row crops is the use of capsulated seeds. The capsule has a diameter of 20-30 mm and contains much more nutritious, stimulating and protective substances as compared to coated seeds. On the back of sharp increase in the particle size of the seeds, it is required to determine the type of sowing device and its design parameters. When seeding heavy capsules with pneumatic devices, energy input increases for creating a vacuum with high air flow, so it is more preferable to use a device with a cellular wheel. Important design parameters of the seeding device are the diameter and the depth of the cell. It is obvious that the depth of the cell should be equal to the diameter of the capsule, due to sphericity of the capsule. And we face a completely different situation at choosing the cell diameter because technically it is more complicated. With a small cell diameter, the process of filling is possible only at low rotation speed of cellular wheel, and when the diameter is greater, the capsules are damaged due to the effect of reflection of another capsule from the cell inlet. The authors theoretically evaluated the effect of the capsule diameter on the cell size and the permissible speed of the capsule motion along the cellular wheel and determined that the capsulated seeds could be sown with cellular wheel devices at a rotation speed significantly exceeding this parameter when seeding coated seeds. The diameter of the cells is linearly dependent on the diameter of the capsules and is constraint by the effect of pinching of capsules partially entered the cells. For capsules with the diameter of 10-30 mm the rational diameter of the cells is between 12-46 mm. By increasing the difference between the seed and the cell diameters, it is possible to sow capsulated seeds with dimensions of 10-30 mm at rotation speed of cellular wheel exceeding 0.22-0.56 m/s, respectively.

**KEYWORDS:** capsule, cellular wheel, cell, capsule damage, the process of filling, rotation speed.

## Введение

Из всех пропашных культур, возделываемых в Центрально-Черноземном регионе, среди самых требовательных к равномерности распределения растений вдоль посевного рядка можно назвать сахарную свеклу [1, 7, 9], соответственно семена этой культуры являются самыми неудобными для пунктирного высева.

Максимальное использование площади свекловичного поля за счет равномерного размещения растений является одним из важнейших резервов повышения урожайности и качества корнеплодов. Только имея хорошие всходы (4–5 шт. на пог. м рядка), достаточную густоту (80–100 тыс. шт./га) и полноту насаждения растений, можно рассчитывать на высокие показатели урожайности, соответствующие конкретному уровню хозяйствования и требуемого качества корнеплодов.

Получить дружные, здоровые, равномерно размещенные всходы всегда сложно, особенно при севе на конечную густоту насаждения. Это во многом обусловлено биологическими особенностями семян свеклы.

Для сахарной свеклы характерна большая разнокачественность семян, которая проявляется в их неоднородности по размерам, форме, массе, строению плодов и по другим свойствам. Учитывая, что по своей природе семена сахарной свеклы мелкие, корявые, слабосыпучие, разнокалиберные да еще и многоростковые со слабой энергией прорастания, необходимо проводить их предпосевную обработку.

В зависимости от способов подготовки семени, предназначенные для сева, могут быть калиброванными, шлифованными, дражированными, инкрустированными, капсулированными. Поэтому неслучайно за последние полвека технология посева изменялась несколько раз и прошла путь от рядового посева многоростковыми семенами с последующим прореживанием всходов до пунктирного высева однострочковых обычных, а потом и дражированных, и капсулированных семян [2, 12, 14, 15].

В настоящее время одним из перспективных направлений развития технологии посева не только сахарной свеклы, но и других пропашных культур является применение капсулированных семян [7, 8, 11]. Капсула имеет больший диаметр – от 20 до 30 мм и в отличие от драже содержит гораздо больше питательных, стимулирующих и защитных веществ [9, 10] (рис. 1).

Применение капсул вместо мелких дражированных семян позволяет повысить полевую всхожесть и создать условия для гарантированного развития растений в начале периода вегетации. Естественно, что появление такого посевного материала требует разработки соответствующего высевального аппарата [3, 4, 5, 13].

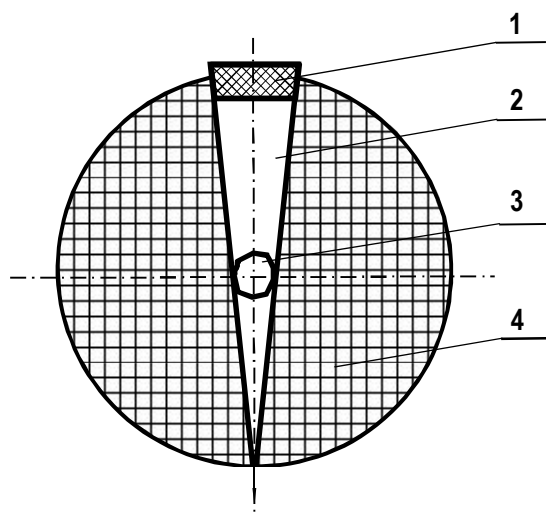


Рис. 1. Капсула для семени: 1 – пробка; 2 – внутренняя полость; 3 – семя; 4 – питательно-защитная смесь

Для пунктирного высева широко распространены только два типа аппаратов – пневматические и ячеисто-дисковые [1, 5]. Можно сразу исключить возможность применения пневматики для высева капсулированных семян, аналогично тому, что она не применяется для посадки, например, картофеля. Увесистые клубни или капсулы потребовали бы слишком большого расхода воздуха при высоком вакууме, а это сопряжено с резким возрастанием энергозатрат и усложнением конструкции пневматической системы. Что касается ячеисто-дисковых аппаратов, то они могут быть применены для высева капсул, но для этого необходимо обосновать их конструктивные параметры и скоростные режимы работы.

Из теории пунктирного высева известно, что для высококачественного размещения семян вдоль посевной борозды приоритетными являются следующие условия:

- стопроцентное заполнение ячеек по одному семени;
- выброс их с увеличенной скоростью, доходящей до скорости движения сеялки, но направленной навстречу;
- отсутствие повреждений [2, 6].

Среди наиболее удачных конструкций для высева дражированных семян можно отметить аппарат с предварительным формированием в питательной камере двух организованных рядов над траекториями прохождения двух кольцевых рядов ячеек [2]. Разработка подобного аппарата для капсулированных семян требует обоснования размера ячеек и их рациональной скорости движения.

#### Методика расчета

В расчете конструктивных и режимных параметров ячеисто-дискового аппарата для высева капсулированных семян применима теория однозернового дозирования.

На движущемся со скоростью  $V_d$  диске, на самом краю ячейки расположено семя (рис. 2). Под влиянием скорости диска оно тоже движется, но с меньшей скоростью  $V_c$ . Относительно диска семя имеет скорость  $V_{отн}$ , и оно начинает полет в ячейке по горизонтали до удара о противоположную стенку и вниз, опускаясь вглубь.

Считается, что ячейка будет заполнена, если семя до удара о стенку успеет опуститься на половину своей толщины  $a$ . Конечно, в этом упрощенном представлении есть несколько допущений, но тем не менее оно позволяет установить примерные соотношения между размерами семян, ячеек и скоростями их движения.

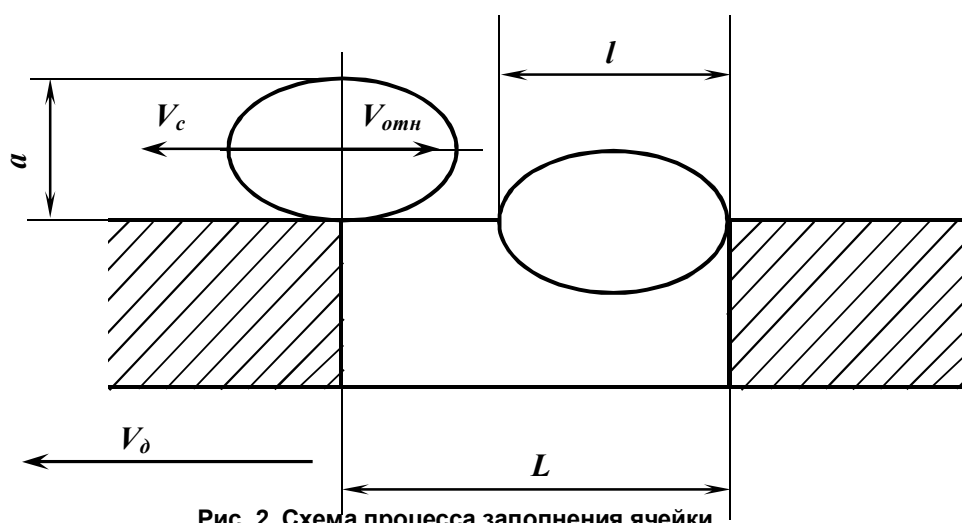


Рис. 2. Схема процесса заполнения ячейки

Время горизонтального и вертикального перемещений семени относительно ячейки будет соответственно равно

$$t = \frac{L - 0,5l}{V_{\text{отн}}} \quad \text{и} \quad t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5a}{g}} = \sqrt{\frac{a}{g}}, \quad (1)$$

где  $a$  – толщина семени, м;

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

$l$  – длина семени, м;

$L$  – длина ячейки, м;

$V_{\text{отн}}$  – относительная скорость движения семени по диску, м/с.

Для того чтобы семя не выскочило из ячейки,  $t_1$  должно быть меньше  $t$  ( $t_1 < t$ ). Если допустить равенство этих отрезков времени, то получим предельную скорость перемещения семени по диску, при которой еще возможно заполнение ячеек.

Приравняв  $t$  и  $t_1$  друг к другу, получим уравнение для определения допустимой относительной скорости движения семени по диску ( $[V_{\text{отн}}]$ , м/с), при которой оно еще может войти в ячейку

$$[V_{\text{отн}}] = \sqrt{\frac{g}{a}} \cdot (L - 0,5l). \quad (2)$$

### Результаты и их обсуждение

В отличие от технологии дражирования семян, капсулы можно приготавливать одинакового размера без отклонений в применяемой для данной культуры фракции. Это значительно уменьшит их повреждения роликом-отражателем высевающего аппарата. При выборе диаметра ячеек для дражированных семян руководствовались простым правилом: самое крупное семя должно разместиться в ячейке с зазором, а два самых мелких войти не должны. Эта неопределенность приводила к повышенному повреждению мелких семян в пределах фракции. При равенстве размеров капсулированных семян диаметр ячейки можно определить более точно и найти резерв повышения скорости дозирования.

В соответствии с выражением (1), при постоянстве размеров  $a$  и  $l$ , то есть при равенстве всех капсул, допускаемая относительная скорость движения семян по диску увеличивается пропорционально длине ячейки. Иными словами, при выбранной скорости дозирования по этому выражению можно определить тот минимальный размер ячейки, при котором только одно семя заполнит ячейку. По мере увеличения диаметра ячейки семена будут заполнять ее более уверенно, но возникает возможность частичного вхождения в ячейку второго семени с нарастающей вероятностью его повреждения роликом-отражателем (рис. 3).

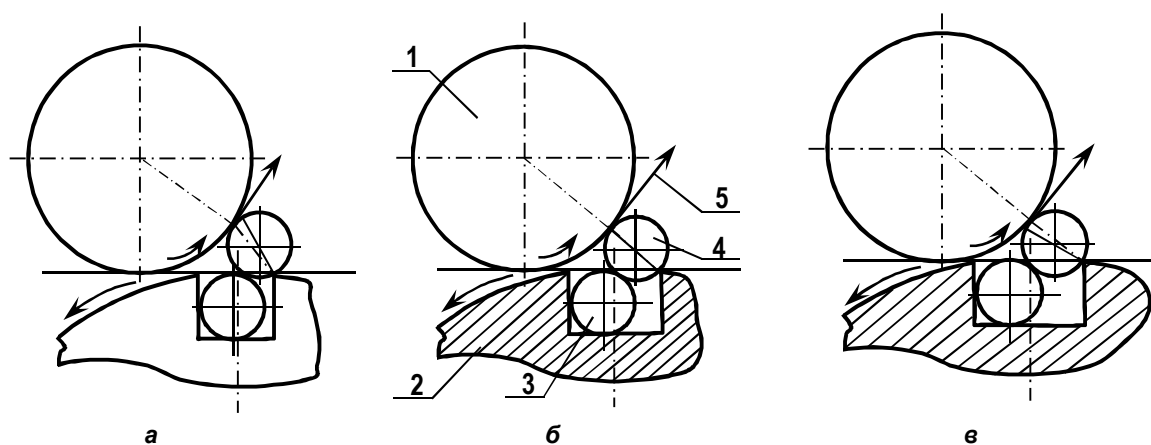


Рис. 3. Варианты отражения лишних капсул в зависимости от диаметра ячеек:  
 1 – ролик-отражатель; 2 – высевающий диск; 3 – капсула в ячейке; 4 – лишняя капсула;  
 5 – вектор скорости отражения лишней капсулы; а – отражение капсулы без повреждения;  
 б – предельный вариант; в – отражение капсулы с повреждением

Лишняя капсула будет отражена без повреждения, если ее диаметр, проведенный из точки касания края ячейки, не дошел до точки касания ролика-отражателя. Если этот диаметр оказался в точке касания, то это предельный случай, определяющий максимально возможный диаметр ячейки для работы без повреждения капсул. В случае еще большего размера ячейки лишняя капсула окажется зажатой роликом-отражателем.

На рисунке 3 вариант б является расчетным для определения максимально возможного диаметра ячеек в функции от диаметра капсул и ролика-отражателя. В расчете принято, что глубина ячеек равна диаметру капсулы (рис. 4). Заданными величинами считаем диаметр капсулы и диаметр ролика-отражателя. Требуется определить диаметр ячейки. Расположение отражаемой капсулы характеризуется прямой линией  $OB$ , проходящей через центры ролика и капсулы, а также через точки касания капсулы с роликом и краем ячейки. Между этой линией и касательной к высеваящему диску в зоне ячейки находится угол  $\alpha$ , под которым на капсулу передается нормальное усилие. Он определяется из соотношения

$$\sin \alpha = \frac{R}{R+d}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус ролика-отражателя, м;  
 $d$  – диаметр капсулы, м.

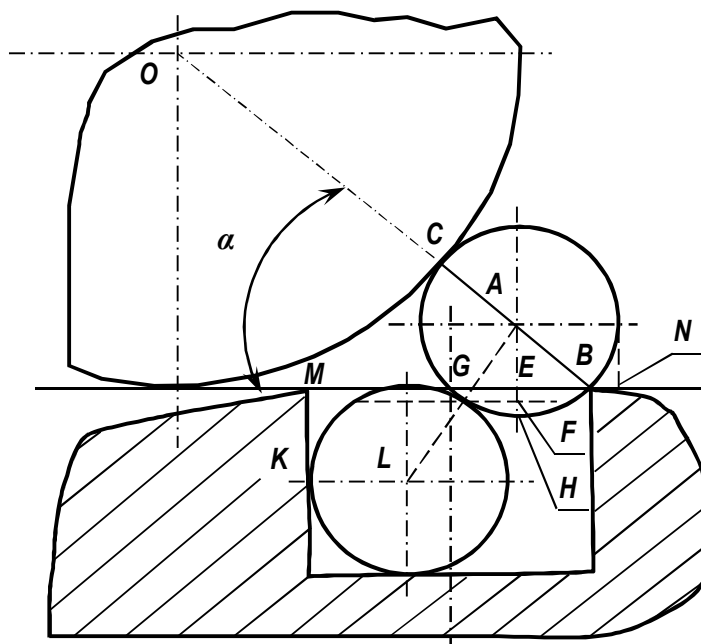


Рис. 4. Положение отражаемой капсулы при предельном значении диаметра ячейки

Для нахождения диаметра ячейки (отрезок  $MB$ ) следует сложить отрезки  $KL$ ,  $EN$ , два отрезка  $GF$  и вычесть отрезок  $BN$ . В результате получается следующая зависимость:

$$D = r(1 + \cos \alpha) + 2\sqrt{r^2 - [0,5r(1 + \sin \alpha)]^2}, \quad (4)$$

где  $D$  – диаметр ячейки, м;  
 $r$  – радиус капсулы, м;  
 $\alpha$  – угол, зависящий от диаметра капсулы и радиуса ролика-отражателя, вычисляется по выражению (3).

В качестве примера приведем результаты расчета предельно возможного диаметра ячейки по выражению (4). Если радиус ролика-отражателя принять равным 40 мм, а диаметр капсулы – 20 мм, то диаметр ячейки должен быть не более 28,5 мм, в про-

тивном случае начнется частичное защемление капсул роликом-отражателем. Диаметр высевающего диска в пределах рационального габарита существенного влияния на процесс заполнения не оказывает.

Представляет интерес, какую скорость относительного движения капсул по диску можно допустить без снижения скорости дозирования (заполняемости ячеек). Применяя выражение (2) к капсулированным семенам, имеем

$$[V_{отн}] = (D - 0,5d) \cdot \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (5)$$

Допускаемая скорость оказалась  $[V_{отн}] = 0,41$  м/с. Для сравнения вычислим допускаемую относительную скорость дражированных семян диаметром 4,5 мм при входе в ячейки диаметром 5 мм. Эта скорость оказалась равной 0,13 м/с.

Рациональные размеры капсул для семян различных культур пока еще не выявлены, но уже сейчас можно показать влияние диаметра капсул на рациональные параметры процесса пунктирного высева (рис. 5).

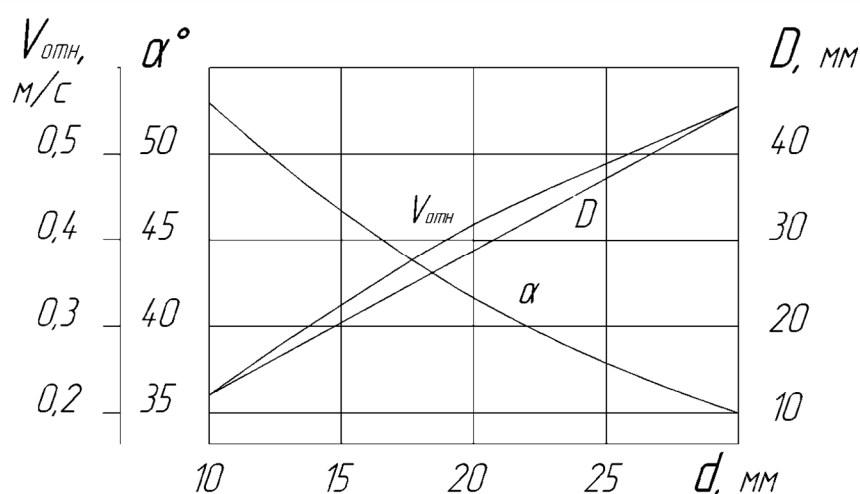


Рис. 5. Влияние диаметра капсулы на диаметр ячейки, угол вектора нормальной силы и предельную относительную скорость капсулы

### Выводы

1. Капсулированные семена можно высевать ячеисто-дисковыми аппаратами со скоростью дозирования, значительно превышающей этот параметр при высеве дражированных семян.

2. Диаметр ячеек ограничивается условием защемления капсул, частично вошедших в ячейки, и линейно зависит от диаметра капсул. Для капсул диаметром от 10 до 30 мм рациональный диаметр ячеек находится в пределах от 12 до 46 мм.

3. За счет увеличения разницы между диаметрами семени и ячейки можно высевать капсулированные семена размером 10–30 мм со скоростями дозирования, превышающими соответственно 0,22–0,56 м/с.

### Библиографический список

1. Василенко В.В. Обоснование предела точности дозирования семян ячеисто-дисковыми аппаратами / В.В. Василенко, С.В. Василенко // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 1. – С. 34–35.
2. Василенко С.В. Совершенствование процесса высева семян сахарной свеклы ячеисто-дисковым аппаратом : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С.В. Василенко. – Воронеж, 2000. – 23 с.
3. Василенко С.В. Совершенствуем высевающий диск / С.В. Василенко // Сахарная свекла. – 1999. – № 2. – С. 19.
4. Конструктивные параметры высевающего диска сеялки для посева капсулированных семян / А.В. Балашов, Ю.А. Тырнов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – № 1. – С. 5–6.

5. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин / С.В. Кардашевский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 173 с.
6. Кардашевский С.В. Методика оценки качества распределения семян при однозерновом посеве с учетом отрицательных интервалов / С.В. Кардашевский. – Москва : ВИСХОМ, 1963. – 32 с.
7. Кардашевский С.В. О точном высеве семян кукурузы / С.В. Кардашевский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1961. – № 2. – С. 16–19.
8. Механическая сеялка для посева капсулированных семян / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин, А.А. Сухов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2014. – № 5. – С. 18–19.
9. Пат. 2475012 Российская Федерация, МПК А01С 7/04 (2006.01). Устройство для посадки семян в капсулах / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин, А.А. Сухов; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – № 2011132723/13 ; заявл. 03.08.2011 ; опубл. 20.03.2013, Бюл. № 5. – 6 с.
10. Пат. 2526272 Российская Федерация, МПК А01С 1/06 (2006.01). Капсула для хранения и посева семян / А.А. Сухов, Н.А. Фоменко, Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов ; заявитель и патентообладатель Сухов Алексей Александрович. – № 2013102319/13, заявл. 17.01.2013 ; опубл. 20.08. 2014, Бюл. № 23. – 6 с.
11. Посев кукурузы в капсулах / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин, А.А. Сухов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – Новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сб. науч. докладов XVI Международной науч.-практ. конф. (Россия, г. Тамбов, 20–21 сентября 2011 г.). – Тамбов : Изд-во Першина Р.В., 2011. – С. 129–130.
12. Сравнительные эксплуатационно-технологические показатели и показатели качества посева капсулированных семян / А.В. Балашов, Ж.Ж. Зайнушев, А.Н. Омаров, А.И. Завражнов, Н.В. Михеев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 179–182.
13. Тырнов Ю.А. Диск для капсулированных семян / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин // Сельский механизатор. – 2012. – № 4. – С. 9.
14. Хангильдин Э.В. Вероятностные модели расположения семян и растений в рядке / Э.В. Хангильдин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1978. – № 5. – С. 32–33.
15. Эксплуатационно-технологические показатели работы агрегатов на посевах капсулированных семян / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, А.А. Сухов // Наука в Центральной России. – 2013. – № 2. – С. 32–35.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Владимир Васильевич Василенко – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Сергей Владимирович Василенко – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Ким Рубенович Казаров – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Виктор Васильевич Труфанов – доктор технических наук, профессор кафедры технологического оборудования, процессов перерабатывающих производств, механизации сельского хозяйства и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: bgd@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 14.11.2019

Дата принятия к печати 17.12.2019

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: vladva.vasilenko@yandex.ru.

Sergey V. Vasilenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: tuli-fruli@mail.ru.

Kim R. Kazarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Viktor V. Trufanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Technological Equipment, Processing Plants' Processes, Agricultural Engineering, Health and Safety, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: bgd @agroeng.vsau.ru.

Received November 14, 2019

Accepted after revision December 17, 2019