

## ВЫБОР СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЯЧЕИСТО-ДИСКОВОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

---

Владимир Васильевич Василенко  
Сергей Владимирович Василенко

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Анализируются технические возможности повышения скорости работы сеялок точного высева с целью повышения производительности и улучшения качества работы. Применён математический анализ процесса заполнения и разгрузки ячеек высевающего диска и влияния скорости движения сеялки на этот процесс. В результате предложены рекомендации специалистам сельского хозяйства, которые касаются выбора скоростных режимов работы высевающего аппарата и движения посевного агрегата. В настоящее время пропашные культуры высевают ячеисто-дисковыми высевающими аппаратами с применением капсулированных семян, требующих высокой точности размещения вдоль посевной борозды. Точность высева нарушается тем, что семена катятся по дну борозды за сеялкой вследствие большой разницы скоростей вращения высевающего диска и движения сеялки. Скоростной режим работы аппарата уменьшает эту разницу скоростей, и точность размещения семян повышается. Скоростной режим работы ячеисто-дисковых аппаратов при высеве капсулированных семян имеет два ограничения – по диаметру ячеек и по скорости вращения высевающего диска. При высеве капсулированных семян диаметром 0,025 м максимальный диаметр входных отверстий в цилиндрические ячейки не должен превышать 0,037 м. В противном случае возникает дробление семян. Окружная скорость высевающего диска должна быть не более 1,04 м/с во избежание выбрасывания семян из ячеек центробежной силой сразу после заполнения. С учётом выявленных ограничений скорость движения посевного агрегата не должна превышать 5,54 км/ч. В противном случае также возникает дробление посевного материала, и качество распределения семян вдоль посевного ряда ухудшается. Дальнейшее увеличение скорости движения посевного агрегата возможно, если выполнить ячейки не цилиндрической, а конической или ступенчатой формы, что будет препятствовать частичному проникновению второго семени, но такие технические решения должны быть теоретически обоснованы и подкреплены инженерными расчётами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ячеистый диск, капсулированные семена, заполнение ячеек, скорость вращения диска, диаметр ячеек.

## SELECTION OF HIGH-SPEED OPERATION MODES OF DISK-CELL SEEDING MACHINE

Vladimir V. Vasilenko  
Sergey V. Vasilenko

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors analyze the technical possibilities of increasing the speed of operation of precision seed drills in order to increase the productivity and improve the quality of work. For this purpose mathematical analysis was applied to assess the process of filling and unloading of seeding disk cells and the effect of seeding machine speed on this process. As a result, recommendations are given to agricultural specialists regarding the selection of high-speed operation modes of the seeding machine and movement of the seeding unit. At present intertilled crops are sown with disk-cell seeding machines using encapsulated seeds, which require high precision of placement along the seeding furrow. Seeding precision is impaired by the fact that seeds roll along the furrow bottom after the seeder due to the large difference in the speed of seeding disk rotation and movement of the seeder. High-speed mode of operation of the machine reduces this difference in speeds, and the precision of seed placement increases. High-speed mode of operation of disk-cell machines during seeding of encapsulated seeds has two limitations, i.e. by the diameter of cells and by seeding disk rotation speed. When the diameter of encapsulated seeds is equal to 0.025 m, the maximum diameter of inlets in the cylindrical cells should not exceed 0.037 m. Otherwise, the seeds are being crushed. Peripheral speed of the seeding disk should be no more than 1.04 m/s in order to avoid the ejection of seeds from the cells by centrifugal force immediately after filling. Taking into account the identified restrictions, the speed of the seeding machine should not exceed 5.54 km/h. Otherwise, crushing of seeding material also occurs, and the quality of distribution of seeds along the

seeding row deteriorates. Further increase in the speed of seeding machine movement is possible if the cells are not cylindrical, but conical or step-shaped, which will prevent the partial insertion of the second seed. However, such technical solutions should be theoretically substantiated and supported by engineering calculations.

KEYWORDS: cell disk, encapsulated seeds, filling of cells, disk rotation speed, diameter of cells.

## Введение

Ячеисто-дисковые аппараты применяются для высева семян пропашных культур, поскольку их норма высева примерно в 50 раз меньше, чем у зерновых культур, и исчисляется в штуках на погонный метр посевного рядка [4, 5]. При этом интервалы между высеянными семенами должны быть одинаковыми, с незначительными отклонениями, иначе урожайность культуры резко снижается по мере роста коэффициента вариации интервалов.

Самой требовательной культурой к равномерности интервалов является сахарная свёкла. Чтобы снижение урожайности от биологического максимума было не более 3%, коэффициент вариации интервалов не должен превышать 0,35. Но если он приближается к единице, то относительная урожайность снижается на 25–27% [1, 16].

Основную роль в появлении хаотичности распределения семян вдоль посевного рядка играют их отскоки и перекатывания при падении в борозду [9, 14]. Для ликвидации этих погрешностей пунктирного посева необходимо обеспечить семенам вертикальную траекторию свободного падения, то есть отсутствие горизонтальной составляющей скорости полёта от высевающего диска до дна борозды. Схематично процесс падения семян и успокоения в борозде представлен на рисунке 1.

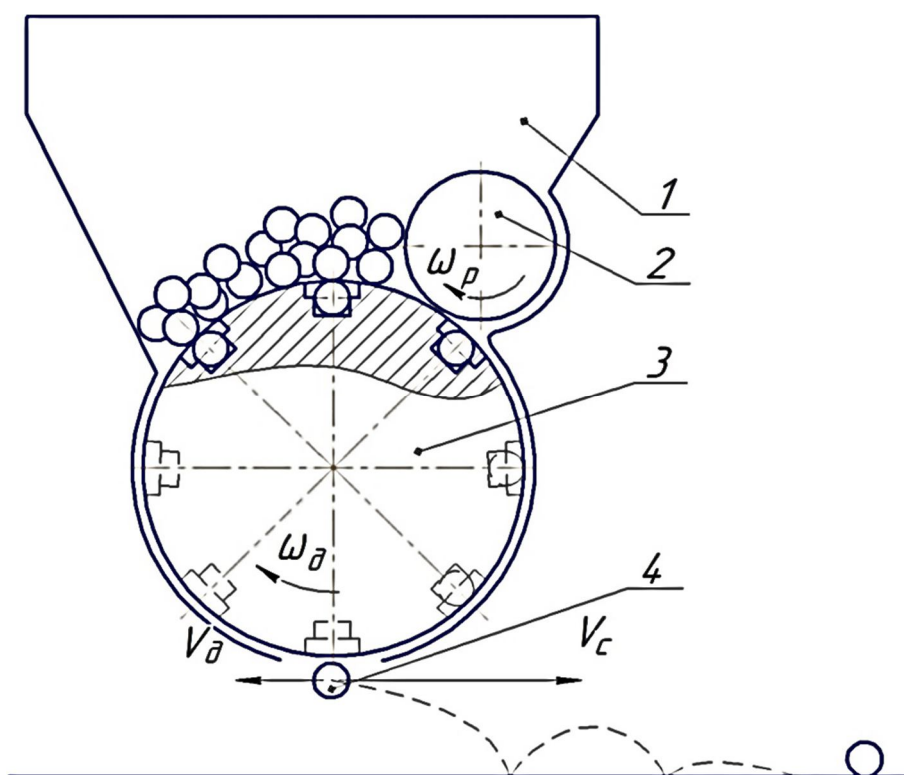


Рис. 1. Схема процесса падения семян в посевную борозду: 1 – бункер для семян; 2 – ролик-отражатель; 3 – высевающий диск; 4 – падающее семя;  $V_c$  – скорость движения сеялки;  $V_d$  – скорость вращения высевающего диска

Семена заполняют поштучно ячейки высевающего диска и в нижней части траектории его вращения свободно выпадают в борозду [3, 7, 10]. В последнее время всё шире используются капсулированные семена с размером круглых капсул от 20 до 25 мм [11, 12, 13]. Таким массивным капсулам не нужен выталкиватель, они выпадают сами

под действием гравитации и центробежной силы [8]. Для такого посевного материала желательно применять ячейки ступенчатой формы. Ступенчатая форма фиксирует одно семя по центру ячейки и не даёт возможности зайти в неё второму семени.

В настоящее время ячейки ячеисто-дисковых аппаратов имеют цилиндрическую форму [2, 6]. В момент выхода из ячейки горизонтальная составляющая абсолютной скорости полёта состоит из двух слагаемых – скорости движения сеялки  $V_c$  и скорости вращения высевающего диска  $V_d$ . Эти скорости направлены в разные стороны, причём из практики свеклосеяния известно, что  $V_c = 1,5–2,0$  м/с, а  $V_d = 0,25–0,40$  м/с. Каждая из этих скоростей имеет свои ограничения, а для повышения качества посева их надо по возможности выровнять.

**Методика расчёта**

Выравнивание обеих составляющих горизонтальной скорости полёта семени может быть достигнуто за счёт уменьшения скорости движения агрегата и увеличения частоты вращения высевающего диска. Скорость движения агрегата напрямую связана с производительностью, и с этой точки зрения её уменьшение нежелательно [15].

Обычно заводы-изготовители сеялок точного высева рекомендуют эксплуатировать сеялки на скорости не более 8 км/ч, или 2,22 м/с, во избежание нарушений точности вождения, процессов формирования борозды и условий нормальной заделки семян в почву. Поэтому в дальнейших расчётах определим возможность применения окружной скорости высевающего диска, близкой к 2,22 м/с.

По условию гарантированного входа семени в ячейку известно соотношение между их размерами и окружной скоростью диска [8]

$$[V_{отн}] = (D - 0,5d) \cdot \sqrt{\frac{g}{d}}, \tag{1}$$

где  $[V_{отн}]$  – относительная скорость семени по диску, м/с;

$D$  – диаметр ячейки, м;

$d$  – диаметр семени, м;

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

Сила трения увлекает семена в движение вслед за высевающим диском, но скорость этого движения не превышает 10% скорости диска:  $V_d = 1,11 [V_{отн}]$ . С учётом выражения (1) для капсулированных семян фракции 25 мм определим взаимозависимость между скоростью вращения высевающего диска и диаметром ячеек (см. рис. 2 и табл.).

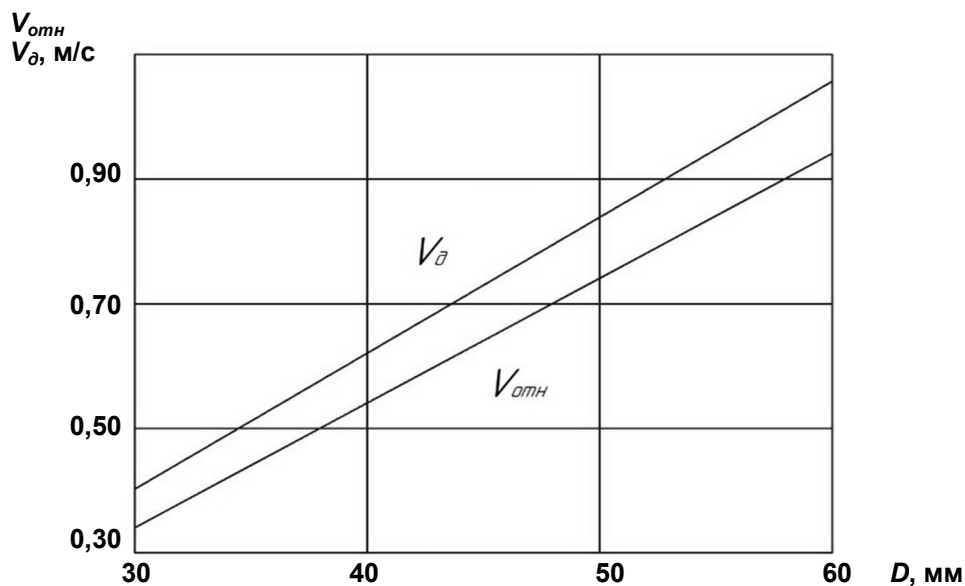


Рис. 2. Зависимость относительной скорости семян и окружной скорости диска от диаметра ячеек

**Влияние диаметра ячеек на допускаемую окружную скорость  
высевающего диска (диаметр капсул 25 мм)**

| Показатель   | Диаметр ячеек, мм |      |      |      |      |
|--|-------------------|------|------|------|------|
|  | 30                | 40   | 50   | 60   | 70   |
| Допускаемая относительная скорость семени по диску, м/с; | 0,35              | 0,54 | 0,74 | 0,94 | 1,14 |
| Допускаемая окружная скорость диска, м/с                 | 0,39              | 0,60 | 0,82 | 1,04 | 1,27 |

Полученные расчётные данные приведённых аналитических зависимостей позволяют выбрать рациональный режим работы высевающего аппарата, если наложить два ограничения – на размер ячейки и на скорость вращения высевающего диска.

**Результаты и их обсуждение**

Ограничение размера ячейки в практике свеклосеяния существует с момента появления пунктирных сеялок и состоит в том, чтобы в ячейку могло входить с минимальным зазором одно крупное семя применяемой фракции, а два мелких семени в ней размещаться не должны. Но это требование применимо для мелких семян, которые предварительно сортируются на фракции с нижними и верхними размерами.

Крупные семена, к которым относятся капсулированные, формируются на технологических линиях с одинаковыми размерами в каждой фракции. Для них требование неразмещения двух семян слишком неопределённое, так как второе семя частично опускается в ячейку и может опуститься настолько глубоко, что будет заклинено и раздавлено роликом-отражателем.

Более точное требование к размеру ячеек для капсулированных семян выражается следующей формулой [8]:

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

где  $D$  – диаметр ячейки, м;

$r$  – радиус капсулы, м;

$\alpha$  – угол заклинивания семени, вычисляется по выражению  $\sin \alpha = R / (R + 2r)^{-1}$ , здесь  $R$  – радиус ролика-отражателя.

Определённое по выражению (2) значение диаметра ячейки при радиусе ролика-отражателя  $R = 0,05$  м равно  $D = 0,037$  м. Если ячейки превышают этот размер, то наступит дробление капсул, хотя до двойного заполнения ещё места мало.

В соответствии с графиком (рис. 2) относительная скорость движения капсул по высевающему диску имеет предел  $[V_{отн}] = 0,50$  м/с, а допускаемая окружная скорость диска равна  $V_{\delta} = 0,57$  м/с.

Второе ограничение в выборе рационального режима работы высевающего аппарата заключается в удержании семени в ячейке силой тяжести против влияния центробежной силы, старающейся выбросить семя сразу после заполнения ячейки. Опасность наступает при равенстве центробежной силе тяжести. Центробежная сила препятствует заполнению ячеек в верхней части высевающего диска, а в нижней части способствует более быстрому выходу семян в посевную борозду.

Критический момент в верхней части диска наступает, если центробежное ускорение выравнивается с ускорением земного тяготения:

$$\omega^2 R_{\delta} = g,$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения высевающего диска, рад/с;

$R_{\delta}$  – радиус высевающего диска, м.

Поскольку на пунктирных сеялках типа ССТ-12 радиус высевающего диска равен  $R_{\delta} = 0,11$  м, то его угловая скорость не должна превышать значение  $\omega = 9,44$  рад/с. Тогда критическая окружная скорость высевающего диска равна  $V_{\delta} = 1,04$  м/с.

Таким образом, из двух ограничений скоростного режима работы ячеисто-дискового высевающего аппарата при высеве капсулированных семян значительно более жёстким является ограничение по размеру ячеек. Окружная скорость высевающего диска должна быть не более 0,57 м/с.

При падении семян в борозду допускается наличие горизонтальной составляющей скорости полёта до 0,5 м/с, при которой перекачивание семян в борозде практически отсутствует [9]. Поэтому сеялка может двигаться со скоростью до 1,54 м/с, то есть вместо рекомендуемой заводами-изготовителями скорости 8 км/ч работать всего лишь со скоростью 5,54 км/ч. При этом режиме работы сохраняется высокое качество распределения капсулированных семян в борозде.

### **Выводы**

Скоростной режим работы ячеисто-дисковых аппаратов при высеве капсулированных семян имеет два ограничения – по диаметру ячеек и по скорости вращения высевающего диска.

При высеве капсулированных семян диаметром 0,025 м максимальный диаметр входных отверстий в цилиндрические ячейки не должен превышать 0,037 м. В противном случае возникает дробление семян.

Окружная скорость высевающего диска должна быть не более 1,04 м/с во избежание выбрасывания семян из ячеек центробежной силой сразу после заполнения.

С учётом выявленных ограничений скорость движения посевного агрегата не должна превышать 5,54 км/ч. В противном случае также возникает дробление посевного материала, и качество распределения семян вдоль посевного рядка ухудшается.

Дальнейшее увеличение скорости движения посевного агрегата возможно, если выполнить ячейки не цилиндрической, а конической или ступенчатой формы, что будет препятствовать частичному проникновению второго семени, но такие технические решения должны быть теоретически обоснованы и подкреплены инженерными расчётами.

---

### **Библиографический список**

1. Василенко В.В. Инверсия семян и её влияние на качество пунктирного посева / В.В. Василенко, С.В. Василенко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 2 (61). – С. 102–108.
2. Диск для капсулированных семян / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, С.П. Стрыгин // Сельский механизатор. – 2012. – № 4. – С. 9.
3. Кардашевский С.В. Выссевающие устройства посевных машин / С.В. Кардашевский. – Москва : Машиностроение, 1973. – 173 с.

4. Кардашевский С.В. Методика оценки качества распределения семян при однозерновом посеве с учётом отрицательных интервалов / С.В. Кардашевский. – Москва : ВИСХОМ, 1963. – 32 с.
5. Кардашевский С.В. О точном высеве семян кукурузы / С.В. Кардашевский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1961. – № 2. – С. 16–19.
6. 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.
7. 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.
8. Особенности процесса пунктирного посева капсулированных семян / В.В. Василенко, С.В. Василенко, К.Р. Казаров, В.В. Труфанов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 4 (63). – С. 38–44.
9. Павлов В.К. Исследование движения семян в сошнике и борозде применительно к скоростным сеялкам точного посева : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В.К. Павлов. – Воронеж, 1971. – 29 с.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
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 посеве капсулированных семян / Ю.А. Тырнов, А.В. Балашов, В.П. Белогорский, А.А. Сухов // Наука в Центральной России. – 2013. – № 2. – С. 32–35.
16. Vasilenko V.V. Impact of Precision Seeding on Yield of Sugar Beet / V.V. Vasilenko, S.V. Vasilenko, N.N. Achkasova // International Scientific and Practical Conference «Agro-SMART – Smart Solutions for Agriculture» (Agro-SMART 2018). – Atlantis Press, 2018. – 151. – Pp. 776–778. DOI: <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.145>.

### 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](mailto: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](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

Дата поступления в редакцию 20.05.2020

Дата принятия к печати 25.06.2020

### 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](mailto: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](mailto:tuli-fruli@mail.ru).

Received May 20, 2020

Accepted after revision June 25, 2020