

Научная статья

УДК 631.331

EDN OTAFCC

DOI: 10.22450/19996837_2023_3_157

К обоснованию формы боковой поверхности ячейки карманного типа для вертикально-дискового аппарата точного высева**Сергей Александрович Шишлов¹, Александр Николаевич Шишлов², Александр Александрович Фадеев³, Дмитрий Сергеевич Шишлов⁴, Екатерина Ивановна Решетник⁵**^{1, 2, 3, 4} Приморский государственный аграрно-технологический университет
Приморский край, Уссурийск, Россия⁵ Дальневосточный государственный аграрный университет,
Амурская область, Благовещенск, Россия¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Аннотация. Посев сои является одной из основных агротехнических операций в технологии ее возделывания, определяющих получение высокого урожая. Условия обеспечения каждого растения в равной степени индивидуальной площадью питания и освещенностью формируются на начальном этапе посева единичным отбором семян ячейками высевающего аппарата. В большинстве существующих конструкций механических высевающих аппаратов точного высева единичный отбор и высев семян производится с помощью вращающегося диска с цилиндрическими радиально выполненными ячейками, что затрудняет загрузку ячеек семенами, а для разгрузки ячеек требуется выталкиватель. В результате снижается скорость вращения диска и, как следствие, производительность посевного агрегата; происходит травмирование семян от воздействия выталкивателя и ролика-укладчика. В предлагаемой конструкции высевающего аппарата, содержащей высевающий диск с ячейками карманного типа, расположенными под углом к радиусу высевающего диска (патент Российской Федерации № 164890), единичный отбор семян сои производится путем зачерпывания их ячейками, что позволяет заполнить ячейки за более короткий промежуток времени в сравнении с существующими подобными конструкциями. Разгрузка ячеек производится от воздействия на семена центробежной силы. Такое конструктивное исполнение высевающего аппарата позволит повысить производительность посевного агрегата за счет увеличения окружной скорости диска, а отсутствие ролика-укладчика и выталкивателя позволит снизить травмирование семян. В статье представлены некоторые результаты теоретических исследований по обоснованию формы боковой поверхности ячейки и ее влиянию на процесс загрузки и разгрузки ячейки карманного типа в вертикально-дисковом аппарате точного высева.

Ключевые слова: посев, точный высев, единичный отбор семян, высевающий аппарат, ячейка карманного типа

Для цитирования: Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Фадеев А. А., Шишлов Д. С., Решетник Е. И. К обоснованию формы боковой поверхности ячейки карманного типа для вертикально-дискового аппарата точного высева // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 3. С. 157–162. doi: 10.22450/19996837_2023_3_157.

Original article

To substantiation of the shape of the side surface of a pocket-type cell for a vertical disk precision sowing apparatus**Sergey A. Shishlov¹, Aleksandr N. Shishlov², Aleksandr A. Fadeev³, Dmitry S. Shishlov⁴, Ekaterina I. Reshetnik⁵**^{1, 2, 3, 4} Primorsky State Agrarian and Technological University, Primorsky krai, Ussuriysk, Russia⁵ Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Abstract. Soybean sowing is one of the main agrotechnical operations in the technology of its cultivation, which determines the receipt of a high yield. The conditions for providing each plant with an equally individual feeding area and illumination are formed at the initial stage of sowing by a single selection of seeds by the cells of the sowing apparatus. In most existing designs of mechanical precision sowing apparatus, single selection and seeding of seeds is carried out using a rotating disk with cylindrical radially made cells, which makes it difficult to load the cells with seeds, and an ejector is required to unload the cells. As a result, the speed of rotation of the disk decreases and, as a consequence, the productivity of the sowing unit, the seeds are injured by the impact of the ejector and the stacker roller. In the proposed design of the sowing apparatus containing a sowing disc with pocket-type cells located at an angle to the radius of the sowing disc (patent of the Russian Federation No. 164890), a single selection of soybean seeds is made by scooping them with cells, which allows filling the cells in a shorter period of time compared to existing similar designs. Unloading of the cells is carried out from the impact of centrifugal force on the seeds. Such a constructive design of the sowing apparatus will increase the productivity of the sowing unit by increasing the peripheral speed of the disk, and the absence of a stacker roller and an ejector will reduce seed injury. This constructive design of the sowing apparatus will increase the productivity of the sowing unit by increasing the peripheral speed of the disk, and the absence of a stacker roller and ejector will reduce seed injury. The article presents some results of theoretical studies to substantiate the shape of the lateral surface of the cell and its effect on the process of loading and unloading a pocket-type cell in a vertical disk precision seeding machine.

Keywords: seeding, precise seeding, single seed selection, sowing apparatus, pocket-type cell

For citation: Shishlov S. A., Shishlov A. N., Fadeev A. A., Shishlov D. S., Reshetnik E. I. K obosnovaniyu formy bokovoi poverkhnosti yacheiki karmannogo tipa dlya vertikal'no-diskovogo apparata tochnogo vyseva [To substantiation of the shape of the side surface of a pocket-type cell for a vertical disk precision sowing apparatus]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2023; 17; 3: 157–162. (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2023_3_157.

Введение. Соя является одной из основных сельскохозяйственных культур, возделываемых в Приморском крае. Обладая высокой энергетической и пищевой ценностью, она обеспечивает надежный задел в обеспечении продовольственной безопасности, формировании кормовой базы [1] и имеет перспективу использования в качестве сырья для получения биотоплива. Потребность в сое отмечается и за рубежом, она активно экспортируется из Приморского края в страны Азиатско-Тихоокеанского региона: Китай, Южную Корею, Японию. Значимость этой культуры вызывает увеличение объемов ее производства как за счет роста посевных площадей, так и за счет повышения урожайности.

Сокращенные агротехнические сроки посева сои требуют совершенствования применяемых технических средств [2]. Существующие конструкции аппаратов точного высева не позволяют производить посев на высоких скоростях посевного агрегата без нарушения требований к единичному отбору семян и их посеву пунктирным способом, как наиболее полно

отвечающим агробиологическим требованиям растений сои.

Целью работы является теоретическое обоснование формы боковой поверхности ячеек высевающего диска при единичном отборе семян, обеспечивающем сокращение времени на загрузку и выгрузку семян с устранением факторов, приводящих к их травмированию.

Материалы и методы исследования. Общей методологической основой проведенных исследований является применение комплексно-системного подхода, обеспечивающего рассмотрение процесса загрузки единичного зерна сои в ячейку карманного типа и выгрузку его из ячейки вертикально расположенного высевающего диска с учетом взаимосвязи системообразующих факторов.

В исследованиях использованы методы и законы прикладной механики, физики, математики.

Результаты исследований и их обсуждение. Для достижения поставленной цели в предлагаемой конструкции высевающего диска с ячейками единичного от-

бора семян карманного типа [3, 4] обосновывается замена прямолинейных боковых поверхностей цилиндрических ячеек на криволинейные с соблюдением условия брахистохронности.

Закономерности перемещения единичного зерна сои при его прямолинейном и криволинейном движении получим, используя схему, приведенную на рисунке 1.

Рассмотрим перемещение зерна сои массой m с ускорением a . Учитывая незначительную длину пути l , проходимого зерном при заполнении ячейки, значениями сил сопротивления воздуха и трения зерна о поверхность ячейки пренебрегаем. Тогда равнодействующая F приложенных к зерну сил и ускорение центра тяжести зерна a будут связаны зависимостью (1):

$$F = ma \tag{1}$$

Проецируя силу F на направление касательной к циклоиде, получим дифференциальное уравнение движения центра тяжести зерна (2):

$$m \frac{d^2l}{dt^2} = mg \sin \beta \tag{2}$$

где g – ускорение свободного падения.

Преобразовав выражение (2) получим равенство:

$$\frac{d^2l}{dt^2} = g \sin \beta$$

Обозначим левую часть равенства величиной k , тогда получим следующее выражение:

$$k = g \sin \beta = \frac{2Rg}{\sqrt{4R^2 + \pi^2 R^2}} = \frac{2g}{\sqrt{4 + \pi^2}}$$

Таким образом, получим уравнение (3):

$$\frac{d^2l}{dt^2} = \frac{2g}{\sqrt{4 + \pi^2}} \tag{3}$$

Решение данного уравнения представим в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dl}{dt} &= kt + C_1; \\ l &= \frac{kt^2}{2} + C_1 t + C_2 \end{aligned}$$

Из начальных условий, когда $t = 0$; $l = 0$, получим $C_1 = C_2 = 0$.

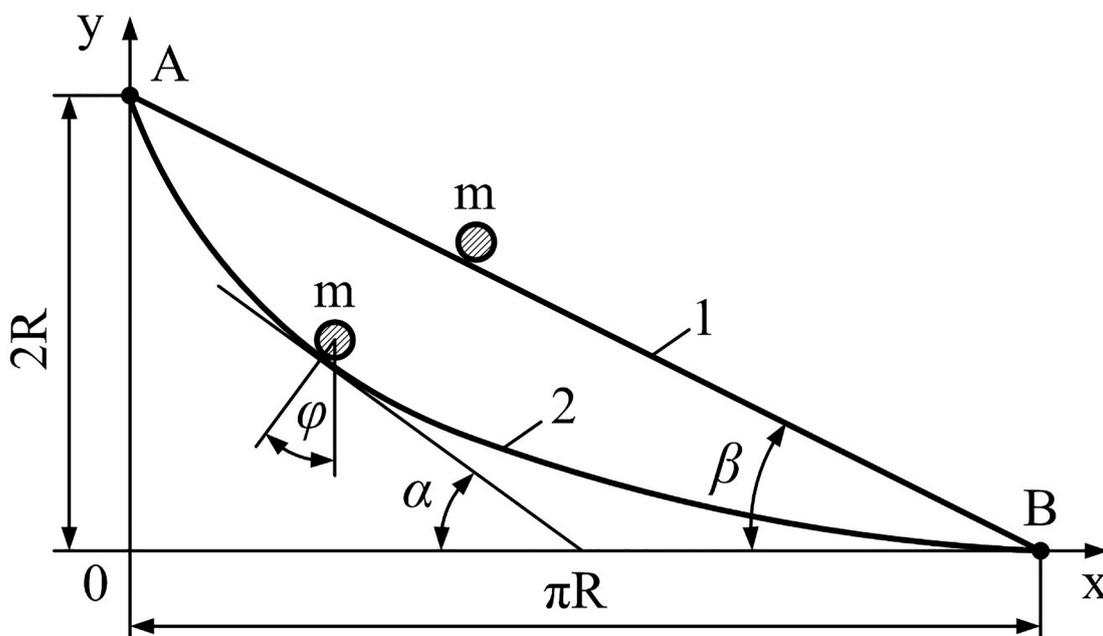


Рисунок 1 – Схема траекторий движения зерна сои из точки А в точку В по прямой (1) и по циклоиде (2)
 Figure 1 – Scheme of trajectories of soybean grain movement from point A to point B along a straight line (1) and along a cycloid (2)

Следовательно, уравнение движения зерна сои по наклонной прямой примет вид выражения (4):

$$l = \frac{gt^2}{\sqrt{4 + \pi^2}} \quad (4)$$

Полную длину пути l , который проходит зерно при движении из точки A в точку B по наклонной прямой, определим по уравнению (5):

$$l = R\sqrt{4 + \pi^2} \quad (5)$$

Используя выражения (4) и (5), определим параметр t , представляющий время перемещения зерна сои по прямой из точки A в точку B :

$$t = \sqrt{\frac{R}{g}(4 + \pi^2)} \quad (6)$$

Рассмотрим перемещение единичного зерна сои по кривой (рис. 1, линия 2), описываемой уравнением циклоиды, которое в параметрической форме имеет следующий вид [5]:

$$\begin{aligned} x &= R(\varphi - \sin\varphi); \\ y &= R(1 + \cos\varphi) \end{aligned} \quad (7)$$

где R – радиус производящей окружности; φ – текущий угол поворота радиуса производящей окружности, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$.

Дифференциальное уравнение движения единичного зерна сои в этом случае примет вид выражения (8):

$$m \frac{d^2l}{dt^2} = mgsin\alpha \quad (8)$$

С учётом уравнения (7) получим выражение (9):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-R\sin\varphi d\varphi}{R(1 - \cos\varphi)d\varphi} = -ctg \frac{\varphi}{2} \quad (9)$$

Дифференциал дуги AB равен:

$$dl = \sqrt{1 + \left(\frac{d\varphi}{dx}\right)^2} dx = 2R\sin \frac{\varphi}{2} d\varphi$$

Тогда длина дуги AB составит:

$$l = \int_0^{\varphi} 2R\sin \frac{\varphi}{2} d\varphi = 4R \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)$$

Следовательно:

$$\cos \frac{\varphi}{2} = 1 - \frac{l}{4R}$$

Из рисунка 1 следует:

$$\frac{dy}{dx} = tg(\pi - \alpha) = -tg\alpha$$

Поэтому имеем:

$$\sin\alpha = tg\alpha \cdot \cos\alpha = \cos \frac{\varphi}{2} = 1 - \frac{l}{4R}$$

Следовательно, уравнение (8) приводится к виду:

$$\begin{aligned} \frac{d^2l}{dt^2} &= g \left(1 - \frac{l}{4R}\right) \\ \text{или } 4R \frac{d^2l}{dt^2} + gl &= 4Rg \end{aligned} \quad (10)$$

Получили линейное неоднородное уравнение с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения, описывающее зависимость изменения дуги, пройденной зерном, от времени, имеет вид выражения (11):

$$l = 4R \left(1 - \cos t \sqrt{\frac{g}{4R}}\right) \quad (11)$$

Когда зерно достигает нижнего положения (рис. 1, точка B), из уравнения (8) следует выражение (12); из уравнения (10) следует выражение (13):

$$\frac{d^2l}{dt^2} = 0, \quad (12)$$

$$l = 4R \quad (13)$$

Произведя подстановку выражения (13) в выражение (11), получим следующую зависимость:

$$4R = 4R \left(1 - \cos t \sqrt{\frac{g}{4R}} \right)$$

так как $\cos t \sqrt{\frac{g}{4R}} = 0$; $t \sqrt{\frac{g}{4R}} = \frac{\pi}{2}$

$$\text{тогда } t = \pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (14)$$

Заключение. Анализ схемы движения зерна (рис. 1) позволяет сделать вывод о том, что путь, который проходит зерно сои, следуя из точки А в точку В по циклоиде 2, больше, чем путь по прямой 1.

Сравнение уравнений (6) и (14) указывает на то, что отрезок времени, за который зерно проходит путь по прямой линии, значительно больше, чем отрезок времени прохождения зерна по циклоиде. Объясняется это тем, что при скатывании зерна по циклоиде модуль его скорости возрастает быстрее, чем по прямой.

Это положение дает основание сделать заключение о том, что в связи с сокращением времени загрузки и разгрузки ячейки карманного типа возможно увеличение окружной скорости высевающего диска и, как следствие, повышение производительности высевающего аппарата.

Список источников

1. Воякин С. Н., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Результаты исследований по получению кормового продукта для молодняка сельскохозяйственных животных // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 4 (60). С. 165–172. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-165-172.
2. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Маршанин Е. В. Повышение производительности экспериментального колесного агрегата на полевых работах // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 2. С. 112–120. DOI: 10.22450/19996837_2023_2_112.
3. Патент № 164890 Российская Федерация. Высевающий аппарат : № 2015139419/13 : заявл.16.09.2015 : опубл. 20.09.2016 / Бородин И. А., Комин А. Э., Фадеев А. А. Бюл. № 26. 3 с.
4. Фадеев А. А., Шишлов С. А., Бородин И. А., Шишлов Д. С. Теоретические аспекты процесса загрузки и разгрузки ячеек карманного типа в аппарате точного высева // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 1. С. 128–133. DOI: 10.22450/19996837_2023_1_128. EDN: QUFKOZ.
5. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 томах. Том 1. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. 680 с.

References

1. Voyakin S. N., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Rezul'taty issledovaniy po polucheniyu kormovogo produkta dlya molodnyaka sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Results of research on obtaining fodder product for young farm animals]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2021; 4 (60): 165–172. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-165-172 (in Russ.).
2. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Marshanin E. V. Povyshenie proizvoditel'nosti eksperimental'nogo kolesnogo agregata na polevykh rabotakh [Improving the performance of an experimental wheeled unit in the field]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2023; 17; 2: 112–120. DOI: 10.22450/19996837_2023_2_112 (in Russ.).
3. Borodin I. A., Komin A. E., Fadeev A. A. Vysevayushchii apparat [Sowing apparatus] *Patent RF, no. 164890 yandex.ru/patents* 2016 Retrieved from https://yandex.ru/patents/doc/RU164890U1_20160920 (Accessed 14 March 2023) (in Russ.).
4. Fadeev A. A., Shishlov S. A., Borodin I. A., Shishlov D. S. Teoreticheskie aspekty protsesssa zagruzki i razgruzki yacheek karmannogo tipa v apparate tochnogo vyseva [Theoretical aspects of the process of loading and unloading pocket-type cells in a seed-placing device]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2023; 17; 1: 128–133. DOI: 10.22450/19996837_2023_1_128. EDN: QUFKOZ (in Russ.).

5. Fikhtengolts G. M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya. Tom 1 [Course of differential and integral calculus. Volume 1]*, Moskva, FIZMATLIT, 2003, 680 p. (in Russ.).

© Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Фадеев А. А., Шишлов Д. С., Решетник Е. И., 2023

Статья поступила в редакцию 06.08.2023; одобрена после рецензирования 07.09.2023; принята к публикации 12.09.2023.

The article was submitted 06.08.2023; approved after reviewing 07.09.2023; accepted for publication 12.09.2023.

Сведения об авторах

Шишлов Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Шишлов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Приморский государственный аграрно-технологический университет;

Фадеев Александр Александрович, старший преподаватель, Приморский государственный аграрно-технологический университет;

Шишлов Дмитрий Сергеевич, студент бакалавриата, Приморский государственный аграрно-технологический университет;

Решетник Екатерина Ивановна, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет

Information about authors

Sergey A. Shishlov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Aleksandr N. Shishlov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University;

Aleksandr A. Fadeev, Senior Lecturer, Primorsky State Agrarian and Technological University;

Dmitry S. Shishlov, Undergraduate Student, Primorsky State Agrarian and Technological University;

Ekaterina I. Reshetnik, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.