DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-30-16-21
УДК 663/635:631.53.04.001

С. Н. Капов, И. Н. Краснов, И. А. Кравченко, Г. Г. Шматко, Е. В. Герасимов

Kapov S. N., Krasnov I. N., Kravchenko I. A., Shmatko G. G., Gerasimov E. V.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВЫСЕВАЮЩЕГО ДИСКА ДЛЯ ПОСЕВА СЕМЯН

JUSTIFICATION OF THE DESIGN OF A SEED DISK FOR SOWING

Предлагается конструктивное изменение механических высевающих аппаратов сеялок при посеве семян бахчевых и овощных культур. Так, если над передней по направлению движения стенкой ячейки высевающего аппарата выполнить неглубокую, несколько удлиненную входную фаску в виде плоской наклонной дорожки, то появляется некоторая скорость вертикального перемещения частицы в ячейку. При этом расстояние между центром тяжести частицы и поверхностью диска перед передней кромкой ячейки меньше, чем без фаски. Из-за этого времени на опускание центра тяжести частицы в ячею потребуется меньше, и частица займёт устойчивое положение в ячейке раньше, чем коснется кромки задней её части. Таким образом, лучшая захватывающая способность ячейки будет обеспечена, если ниже расположить центр тяжести частицы относительно поверхности диска и добиться повышения скорости её перемещения в вертикальном направлении. Теоретически обоснованы условия захода семени в ячею высевающего диска, длина ячеи, параметры входной и выходной её фасок. Определено условие отражения частицы без повреждения.

Ключевые слова: культиватор, семена, параметры ячеи, посев, культура, сеялка, высевающие диски, ячея диска.

The article gives the design change of mechanical sowing apparatuses planters in case of planting seed melon and vegetable crops. So, if over the front (according to the movement) wall of the cell of the sowing device make a small in-coming chamfer, then there will appear some speed of vertical movement of the particles in the cell. The distance between the centre of gravity of the particles and the surface of the disk before the leading edge of the cell is less than without chamfer. Because of this, the time for lowering the centre of gravity of the particles in the cell will be less, and the particle will occupy a stable position in the cell before the back edge touches its part. Thus, the best exciting ability of cells can be achieved in case of the lower position of the center of gravity of the particles relative to the surface of the disk, improvement of the speed of its movement in the vertical direction. We got theoretically based condition of seed entry in the cell of the sowing disk, mesh length, input and output parameters of its chamfers.

Key words: cultivator, seed sowing, cell parameters seeds, culture, seeder, sowing disks, disk cell.

Капов Султан Нануович –

доктор технических наук, профессор кафедры механики и компьютерной графики
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-988-751-17-61
E-mail: Capov-sn57@mail.ru

Kapov Sultan Nanuovich –

Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Mechanics
and Computer Graphics
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-988-751-17-61
E-mail: Capov-sn57@mail.ru

Краснов Иван Николаевич –

доктор технических наук, профессор
кафедры технологии и средств механизации
агропромышленного комплекса
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
г. Зерноград
Тел.: 8-928-1379808
E-mail: Krasnov3110@rambler.ru

Krasnov Ivan Nikolaevich –

Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Technology
and Facilities of Mechanization
of Agroindustrial Complex
of the Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HE «Don State Agrarian University»
Zernograd
Tel.: 8-928-1624710
E-mail: Krasnov3110@rambler.ru

Кравченко Иван Андреевич –

кандидат технических наук, доцент
кафедры технологии и средств механизации
агропромышленного комплекса
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
г. Зерноград
Тел.: 8-928-1624710
E-mail: uvan.kravchenko@mail.ru

Kravchenko Ivan Andreevich –

Ph.D of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Technology
and Facilities of Mechanization
of Agroindustrial Complex
of the Azov-Black Sea Engineering Institute
FSBEI HE «Don State Agrarian University»
Zernograd
Tel.: 8-928-1624710
E-mail: uvan.kravchenko@mail.ru

Шматко Геннадий Геннадьевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры
процессов и машин в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Shmatko Gennady Gennadievich –

Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Processes and Machines
in Agribusiness
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»

г. Ставрополь
Тел.: 8-918-741-91-69
E-mail: gshmatko@yandex.ru

Герасимов Евгений Васильевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
процессов и машин в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-906-411-76-84
E-mail: ev_gerasimov@mail.ru

Stavropol
Tel.: 8-918-741-91-69
E-mail: gshmatko@yandex.ru

Gerasimov Evgeny Vasilievich –
Ph.D of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Processes
and Machines in Agribusiness
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-906-411-76-84
E-mail: ev_gerasimov@mail.ru

По биологическим свойствам семена овощных культур (в том числе бахчевых) отличаются от других продолжительным периодом прорастания, что влияет на густоту стояния и условия произрастания растений. Это вызывает неравномерное развитие растений и в конечном итоге способствует снижению урожайности культур. Поэтому вопросы качественного посева семян различных культур представляют научно-практический интерес.

На современном этапе высева семян овощных и бахчевых культур производится различными сеялками с разнотипными высевальными аппаратами и сошниками. Данной проблематике посвящено множество работ, среды которых можно выделить некоторые [1, 2]. Так, например, для посева различных культур можно рекомендовать сеялку GAMMA с механическим высевальным аппаратом (рис. 1).

Конструкция сеялки состоит из нескольких высевальных секций 1, туковывсевающих аппаратов 2, механизмов передач и распределения, двух дисковых маркеров 3, опорных колес 4 и рамы 5. На основной несущей раме сеялки присоединяются модули секций на параллелограммной подвеске. Каждый модуль секции включает высевальную секцию с ящиками (банками) для семян, рабочий орган (сошник), за которым следует прикатывающее колесо и блок механизма привода высевального аппарата от опорного колеса. Конструктивная ширина захвата сеялки определяется шириной междурядья и количеством секций на основной несущей раме. Так, посевной агрегат с сеялкой GAMMA, имеющей ширину захвата 4,2 м, при междурядье 70, 105, 140 и 210 см может содержать 6, 4,

3 и 2 секций соответственно. Если же производить посев семян при тех же количествах секций, но при междурядье соответственно 60, 90, 120 и 180 см, то ширина захвата сеялки составит до 3,6 м.

Процесс посева семян гнездовым способом предусматривает захват зерновки диском аппарата, который вращается на дне семенного ящика, и постепенное заполнение ячейки семенами, находящимися по периферийной части диска. В ячейку каждого высевального диска попадает одно зерно, а лишние зерновки отбрасываются отражателями. В дальнейшем семена из ячеек диска попадают в выходное отверстие высевального аппарата, а затем сбрасываются в семяпровод (корпус) рабочего органа (сошника) (рис. 2).

На практике в зависимости от типа высеваемых семян подбирается высевальный диск с определенным количеством и диаметром отверстий. Глубина посева устанавливается двухдисковым сошником сеялки с копирующим колесом. Важную роль при этом играет конструкция ячей(ки) высевального диска, которая определяет качество посевного материала. Поэтому вопросы совершенствования высевального диска сеялки являются предметом дальнейших исследований. Так как качество посева семян связано с формой и зависит от параметров (размерных характеристик) ячей(ки) высевального диска, то возникает необходимость обосновать условия захвата семенного материала, входа их в ячейку и силовое взаимодействие между семенем и кромкой ячейки, а также между соседними семенами. Исходя из этого в основу теоретических исследований положены классические законы механики и динамики дискретных (сыпучих) сред.

Рисунок 1 – Сеялка GAMMA

Рисунок 2 – Двухдисковый сошник
с копирующим колесом Рисунок 3 – Схема движения зерновки по диску
перед входом в ячейку

С целью определения размеров заполняемых семенами ячеек рассмотрим схему движения одного семени как частицы, которая движется по поверхности диска и находится перед входом в ячейку (рис. 3).

До момента вхождения в ячейку зерновка движется по рабочей поверхности высевающего диска с относительной горизонтальной скоростью V_r , которая по значению меньше скорости самого диска V . Когда передняя кромка ячейки пройдет под центром O_0 частицы, зерновка под воздействием силы тяжести совершает сложное (равноускоренное и равномерное) движение соответственно по вертикальной и горизонтальной плоскостям.

Тогда процесс движения зерновки можно описать следующими уравнениями:

$$\begin{cases} X = V_r \cdot t \\ Y = \frac{d_u}{2} - \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (1)$$

Анализ (1) показывает, что механизм западания зерновки в ячейку диска аналогичен процессу прохода зерновки через отверстие плоского зернового решета. Известно, что на плоских решетках зерновка занимает в движущемся отверстии устойчивое положение, если при этом центр тяжести ее находится не выше верхней плоскости решета.

В рассматриваемом случае частица займет устойчивое положение в ячейке диска, если за время полета t она спустится на величину $dY/2$ раньше, чем переместится по горизонтали (X) на величину $(L - \xi \cdot d_Y)$ [3]. Тогда выражение (1) примет вид

$$\begin{cases} L - \xi \cdot d_u = V_r \cdot t \\ \frac{d_u}{2} = \frac{g \cdot t^2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Из уравнения (2) определим длину ячейки L как

$$L = V_r \sqrt{\frac{d_u}{g}} + \xi \cdot d_Y, \quad (3)$$

где V_r – относительная скорость движения зерновки по диску, м/с;

ξ – коэффициент, оценивающий положение центра тяжести зерновки;

d_u – условный диаметр зерновки, м.

В приведенной зависимости (3) длина L ячейки высевающего диска – величина переменная, зависящая, в основном, от относительной скорости движения зерновки по рабочей поверхности диска и от его размеров. Так, даже при небольшом повышении скорости вращения высевающего диска происходит ухудшение показателя заполняемости ячеек частицами [4]. Превышение же длины ячейки L от рациональных параметров приводит к нарушению последовательности подачи семенной частицы в ячейку по зерновке. Отсюда возникает необходимость обоснования формы рабочего диска. В первую очередь необходимо определить условие, обеспечивающее захватывающую способность ячеек в заданных пределах, при котором скорость вращения высевающего диска сохранялась бы постоянной.

Поисковыми экспериментами установлено, что если над передней стенкой ячейки выполнить неглубокую, удлиненную входную фаску в виде плоской дорожки с наклоном, то появляется некоторая скорость перемещения зерновки в вертикальной плоскости. При этом расстояние между поверхностью высевающего диска и центром тяжести частицы меньше, чем без фаски. Из-за этого время опускания центра тяжести частицы в ячейку уменьшается, и зерновка занимает устойчивое положение в ячейке раньше, чем коснется кромки задней её части.

Таким образом, лучшая захватывающая способность ячейки обеспечивается, если расположить центр тяжести зерновки ниже по отношению к рабочей поверхности высевающего диска и по возможности добиваться повышения скорости её перемещения в вертикальной плоскости.

Траектория движения центра тяжести зерновки с учетом скорости ее свободного падения может быть описана параболической зависимостью. Тогда кромка фаски диска должна находиться на расстоянии её радиуса от траектории перемещения центра тяжести частицы [5]. При такой работе в заданном режиме скоростей диска ячейка с наклонной фаской подобного профиля теоретически может рассматриваться как увеличенная на длину фаски. При этом подобная ячейка с наибольшей фаской способна захватывать более одной зерновки. Однако это

может привести к процессу защемления верхней зерновки между отражателем и нижней частицей или к подаче двух и более зерновок одновременно в семянаправитель сошника.

Для исключения данного факта целесообразно уменьшить как глубину, так и длину ячейки за счет смещения профиля фаски в сторону ячейки. При этом максимально сместить профиль возможно до тех пор, пока верхняя частица, которая опирается на профиль фаски и на поверхность нижней частицы, не смогла выглубиться до положения, когда заведомо не будут счищены лишние семена с ячейки отражателем. Поэтому необходимо определить максимально возможную глубину погружения в ячейку второй зерновки, одновременно опирающуюся на нижнюю зерновку и кромку фаски из условия незащемления верхней части.

Известно, что угол защемления частицы должен быть больше или равен суммарным углам трения её о верхнюю и нижнюю поверхности:

$$\alpha \geq \phi_1 + \phi_2, \quad (4)$$

где ϕ_1 – угол трения верхнего семени об отражатель;

ϕ_2 – угол трения верхнего семени о нижнее семя.

Рассмотрим схему защемления частицы отражателем и другой нижней частицей (рис. 4).

Максимально допустимая величина погружения верхней частицы в ячейку составит $2 \cdot \delta$, определим её величину:

$$\delta = \frac{d_u}{2} - l, \quad (5)$$

где l – расстояние (O_0K) от центра масс верхней частицы до проекции на вертикальную ось точки соприкосновения её с нижней частицей.

Расстояние определим из прямоугольного треугольника

$$l = \frac{d_u}{2} \cdot \cos \gamma, \quad (6)$$

Рисунок 4 – Схема защемления частицы отражателем и другой нижней частицей

тогда

$$\delta = \frac{d_u}{2} (1 - \cos \gamma), \quad (7)$$

где γ – угол между касательной, проходящей через точку контакта верхнего и нижнего семян, и поверхностью высеваящего диска, град.

Учитывая, что $\gamma = \theta - \alpha$, имеем

$$\delta = \frac{d_u}{2} [1 - \cos(\theta - \alpha)], \quad (8)$$

где θ – угол между плоскостью отражателя и поверхностью диска, град.

После подстановки в уравнение (8) значения угла α из формулы (4) имеем

$$\delta = \frac{d_u}{2} [1 - \cos(\theta - \phi_1 - \phi_2)]. \quad (9)$$

Приняв значение глубины фаски $h_\phi = 2\delta$, получим

$$h_\phi = d_u [1 - \cos(\theta - \phi_1 - \phi_2)]. \quad (10)$$

Далее определим при этой глубине погружения длину входной фаски с учётом движения семени в ячейку по параболе. За время t движения частицы от начала фаски до передней кромки ячейки она переместится (рис. 5):

– в вертикальном направлении Y :

$$h_\phi = \frac{g \cdot t^2}{2}, \quad (11)$$

– в горизонтальном направлении X :

$$V_r \cdot t = l_\phi + \frac{d_u}{2} \cdot \cos \left(\arctg \frac{V_r}{V_0} \right), \quad (12)$$

где l_ϕ – длина входной фаски, м;

V_0 – скорость вертикального перемещения частицы в ячейку, м/с.

Значение скорости вертикального перемещения частицы в ячейку диска V_0 можно найти как

$$V_0 = \sqrt{\frac{h_\phi \cdot g}{2}}. \quad (13)$$

Рисунок 5 – Схема движения частицы по входной фаске ячейки

Из уравнения (11) получим, что

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h \phi}{g}}, \quad (14)$$

а из уравнения (13) с учетом (14) имеем, что

$$l_{\phi} = V_r \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h \phi}{g} - \frac{d_u}{2} \cdot \cos\left(\arctg \frac{V_r}{V_0}\right)}. \quad (15)$$

Чтобы определить относительную скорость движения частицы по диску V_r , рассмотрим схему сил, действующих на зерновку массой m (рис. 6).

Здесь введены обозначения: G – сила тяжести, H ; F_1 – горизонтальная сила давления на зерновку, создаваемая вертикальным усилием вышележащих слоев, H ; F_2 – внешняя сила трения зерновки о стенку высевающего аппарата, H ; F_3 – внутренняя сила трения зерновки о вышележащие слои, H ; F_4 – внутренняя сила трения зерновки о расположенный сбоку слой семян, H ; $F_{ин}^e$ – горизонтальная сила давления на частицу, создаваемая центробежной силой инерции, H ; $F_{ин}^k$ – горизонтальная сила давления на частицу, создаваемая Кориолисовой силой, H ; $P_{сж}$ – сжимающая сила, действующая со стороны вышележащих слоев и направленная по линии укладки частиц, H ; R_c – сила реакции стенки семенного ящика, H ; R_d – сила реакции поверхности высевающего диска, H .

Составим уравнения равновесия сил по осям τ и n :

$$\begin{cases} m_r^{\tau} = F_2 + F_3 + F_4 + F_1 \\ m_r^n = R_c + F_{ин}^k - F_{ин}^e - P_n \end{cases} \quad (16)$$

Здесь вертикальная P и горизонтальная P_n силы, действующие со стороны вышележащих слоев в направлении линии укладки частиц, являются результирующими для равнодействующей силы $P_{сж}$. Величины действующих сил F_1 , F_2 , F_3 , F_4 и зависимость для вычисления относительной скорости движения семян по диску изложены в работе [5], по ним находим, что

$$V_r = \frac{w}{2} \cdot \left(R - \frac{d_u}{2} \right) - \frac{g \cdot f_1}{2 \cdot w \cdot f_2} + \frac{p \cdot \gamma \cdot g \cdot d_u^3 \cdot \cos \beta}{m \cdot w \cdot f_2} ((f_2 + f_3) \cdot \operatorname{tg} \beta + f_2 - f_3). \quad (17)$$

Рисунок 6 – Расчётная схема сил, действующих на частицу

Таким образом, для высевающего диска с входной фаской в виде плоской наклонной дорожки установлено, что захватывающая способность ячейки обеспечивается при расположении центра тяжести частицы ниже поверхности диска. При этом теоретически обосновано условие захода семени в ячейку высевающего диска и установлена зависимость для вычисления относительной скорости движения семян по диску. По полученным данным можно определить рациональные размеры входной фаски, а именно длину, ширину и глубину ячейки, а также построить её профиль [6].

Литература

1. Сляднев Д. Н., Якубов Р. М., Шматко Г. Г. Обзор конструкций высевающих аппаратов травяных сеялок и их анализ // Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. / Инновационный центр развития образования и науки. 2014. С. 25–30.
2. Овсянников С. А., Шматко Г. Г., Герасимов Е. В. Качество посева скоростными агрегатами // Сельский механизатор. 2015. № 1. С. 4.
3. Кравченко И. А. Интенсификация технологического процесса высева семян арбузов аппаратом бахчевой сеялки : дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1992.

References

1. Slyadnev D. N., Yakubov R. M., Shmatko G. G. Review of designs planters of herbal planters and their analysis // Technical science: trends, prospects and technology development: collection of scientific works on the results International Scientific-Practical Conference / Innovation Development Centre of Science and Education. 2014. P. 25–30.
2. Ovsyannikov S. A., Shmatko G. G., Gerasimov E. V. Quality of seeding with the high-speed units // Agricultural Mechanizer. 2015. № 1. P. 4.
3. Kravchenko I. A. Intensification of the technological process of sowing watermelon seeds with the apparatus of the melon

4. The results of the laboratory and field tests of seeders with combined ploughshares / M. A. Aduov, S. N. Kapov, S. A. Nukusheva, E. Zh. Kaspakov, K. A. Volody // V International scientific congress «Agricultural machinery 2017». Varna, Bulgaria, 2017. Volume 1, issue 6. P. 51–52.
5. Кравченко И. А. Характеристики подачи семян арбузов ячейками диска // Совершенствование технологических процессов и конструкции сельскохозяйственных машин : труды / Кубан. СХИ. 1989. Вып. 294.
6. Обоснования профиля рабочей поверхности сошника / С. Н. Капов, М. А. Адуов, К. К. Такабаев, С. А. Нукушева // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный). 2017. № 2 (93). С. 120–127.
- seeder: thesis for Candidate of Technical Sciences. Zernograd, 1992.
4. The results of the laboratory and field tests of seeders with combined ploughshares / M. A. Aduov, S. N. Kapov, S. A. Nukusheva, E. Zh. Kaspakov, K. A. Volody // V International Scientific Congress «Agricultural Machinery 2017». Varna, Bulgaria, 2017. Volume 1, issue 6. P. 51–52.
5. Kravchenko I. A. Characteristics of watermelon seeds supply with the cells of the disk // Improvement of technological processes and design of agricultural machinery: proceedings / Kuban Agricultural Institute. 1989. Issue. 294.
6. The study of the profile of the working surface of the coulter / S. N. Karpov, M. A. Garden, K. K. Takabaev, S. A. Nukusheva // Bulletin of Science of Kazakh Agro-technical University named after S. Seifullin (interdisciplinary). 2017. № 2 (93). P. 120–127.