DOI УДК 631.331

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОДАЧИ СЕМЯН КУКУРУЗЫ ДОЗИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

**ДУБИНА Константин Павлович,** Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет

Отмечается, что при посеве кукурузы высокая эффективность подачи семян может быть достигнута за счет использования дозирующих элементов переменной площади, полученных за счет пересечения фигурного выреза в прокладке вакуумной камеры и продолговатых прорезей в высевающем диске.

**Введение.** Кукуруза – одна из лидирующих продовольственных, технических и кормовых культур. При высокой урожайности она достаточно засухоустойчива, ее возделывание способствует оптимизации плодосмена, развитию животноводства, повышает эффективность борьбы с некоторыми болезнями и сорной растительностью [5].

В подавляющем большинстве случаев посев кукурузы производится пунктирным способом, при котором особое внимание уделяется качеству поштучного дозирования семян, осуществляемого высевающими аппаратами пропашных сеялок. Широкое применение при реализации посева кукурузы получили вакуумные высевающие аппараты с дозирующими элементами в виде круглых присасывающих отверстий [9]. Использование таких присасывающих отверстий упрощает изготовление аппарата, однако при этом не позволяет обеспечить его качественной работы при ухудшении условий функционирования (возрастание скорости посева, снижение величины разрежения, создаваемого пневмосистемой сеялки и т.д.). С этой точки зрения, более эффективным является применение дозирующих элементов переменной площади сечения [1, 4, 6, 8]. Однако существующие на сегодняшний день наработки в этой области имеют первичный характер, исследователями определены не все рациональные параметры самих дозирующих элементов и рациональные режимы оснащенных ими высевающих аппаратов.

Целью исследования является оптимизация рациональных параметров дозирующих элементов переменного сечения, обеспечивающих повышение качества подач семян кукурузы пропашных сеялок с вакуумными высевающими аппаратами.

**Методика исследований.** Дозирующие элементы переменного сечения образуются за счет пересечения продолговатых прорезей в высевающем диске1 с фигурным вырезом в прокладке 2 вакуумной камеры (рис. 1) [1, 4, 6, 8].

В нижней части, примыкающей к семенной камере, площадь такого дозирующего элемента будет максимальна, что облегчит присасывание семян. При выходе дозирующего элемента из семенной камеры противодействующая сила снижается со стороны вышележащего слоя семян, вместе с этим уменьшается площадь дозирующего элемента, что дает возможность сократить вероятность сохранения двойных подач, снизить расход воздуха на просасывание. При этом рядом теоретических и экспериментальных исследований

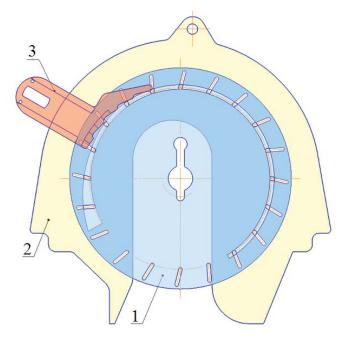


Рис. 1. Схема образования дозирующих элементов переменного сечения: 1 – высевающий диск; 2 – прокладка; 3 – сбрасыватель «лишних» семян

**2** 2019



было установлено, что при посеве кукурузы оптимальная ширина радиальных прорезей в высевающем диске должна составлять 3 мм; ширина фигурного выреза в нижней части семенной камеры – не менее двойного условного диаметра высеваемых семян, ширина фигурного выреза прокладки за зоной действия сбрасывателя «лишних» семян (далее – сбрасывателя) – 3 мм (при разрежении в вакуумной камере – 4,5...5,0 кПа) [1, 2, 4, 6].

В современной теории работы сеялок точного высева сложилась тенденция, согласно которой при захвате семян обеспечивают минимум «пропусков», даже за счет значительного увеличения вероятности захвата группы семян. Это связано с тем, что избыточные семена при дальнейшей работе аппарата могут быть удалены, но недостаток семян уже ничем компенсирован не будет. Однако в то же время проведенные исследования показали, что чем наибольшее количество семян располагается у присасывающего отверстия во время начала их контактирования со сбрасывателем «лишних» семян, тем более одинаковым и менее предсказуемым становится процесс удаления лишних семян [9].

В «классических» вакуумных высевающих аппаратах с круглыми дозирующими элементами отсутствует возможность изменения числа семян у дозирующих элементов на этапе их перемещения от семенной камеры к сбрасывателю «лишних» семян. В аппаратах с дозирующими элементами переменного сечения часть избыточных семян удаляется до подхода дозирующих элементов к сбрасывателю за счет изменения их площади (уменьшением радиального размера).

Гипотетически оптимальные условия для работы сбрасывателя будут созданы в том случае, если площадь дозирующего элемента обеспечит условия, близкие к критически минимальным, необходимым для удержания одного семени при его взаимодействии со сбрасывателем.

Наибольшая степень перекрытия дозирующего элемента обеспечивается вершинами выступов на хвостовике сбрасывателя. Согласно этому площадь контактирования семян с дозирующими элементами в этих точках будет минимальной. Условие удержания основного семени у дозирующего элемента [9] будет выражаться неравенством  $F \geq R_{\rm cc}$  (где F — полезная сила, равная максимальной силе трения семени о поверхность высевающего диска, H;  $R_{\rm cc}$  — равнодействующая сил сопротивления, действующих на семя, H).

Процесс взаимодействия семени с выступом сбрасывателя носит стохастичес-

кий характер и не может быть описан точно. Для получения зависимостей, позволяющих определить хотя бы примерное, усредненное необходимое значение параметров ПВА, в исследовании был принят ряд допущений:

максимальные значения сил трения высевающего диска о семя и семени о выступ сбрасывателя пропорциональны силам нормального давления семени на эти поверхности (в соответствии с законом Кулона);

семя у дозирующего элемента расположено таким образом, что его размер в плоскости, перпендикулярной плоскости высевающего диска, равен средней толщине семян;

толщина сбрасывателя превышает половину толщины семян  $(c, \mathbf{m})$ ;

перемещением семян перпендикулярно плоскости высевающего диска можно пренебречь;

снижение величины разрежения в плоскости дозирующих элементов, совпадающей с плоскостью рабочей поверхности высевающего диска, составляет 10 % в сравнении с ее величиной в вакуумной камере;

проекция семени на плоскость высевающего диска имеет форму окружности, условный диаметр которой равен среднему геометрическому средней длины и ширины семян;

присасывающая сила действует в направлении от центра тяжести семени к геометрическому центру дозирующего элемента, расположенному в плоскости рабочей поверхности высевающего диска;

сила трения высевающего диска о семя приложена к геометрическому центру «свободной» части дозирующего элемента, который в плоскости высевающего диска имеет форму прямоугольника;

угол поворота высевающего диска за время взаимодействия семени с вершиной выступа сбрасывателя достаточно мал, чтобы пренебречь кривизной траекторий движения семени и дозирующего элемента;

угловая скорость ( $\omega$ , с<sup>-1</sup>) высевающего диска постоянна ( $\omega$  = const);

величина разрежения (H, к $\Pi$ а) в вакуумной камере постоянна (H = const).

При проведении анализа считаем, что радиальная проекция равнодействующей сил сопротивления пренебрежимо мала в сравнении с тангенциальной (рис. 2). Это обусловлено тем, что при контакте с вершиной выступа радиальная проекция силы нормальной реакции со стороны сбрасывателя уравновешена соответствующими проекциями других сил (в радиальном направлении семя неподвижно).

**2** 2019



88

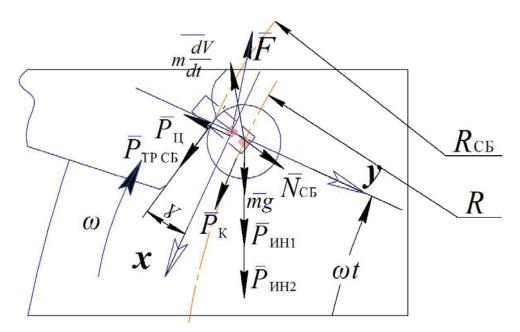


Рис. 2. Проекция сил, воздействующих на семя, взаимодействующее с выступом сбрасывателя «лишних» семян

Тангенциальная составляющая равнодействующей силы сопротивления, действующей на семя при взаимодействии со сбрасывателем:

$$R_{\text{CC} x}(t) = \left( mg \pm P_{\text{UH1}}(t) \pm P_{\text{UH2}}(t) \right) \cos \omega t -$$

$$-F_{\text{IIDJ}}(t) \sin \gamma(t) + P_{\text{K}}(t) + N_{\text{CB}}(t) \sin \gamma(t) -$$

$$-m\frac{d^2x}{dt^2}(t) - P_{\text{TP CB}}(t)\cos\gamma(t), \qquad (1)$$

где mg — сила тяжести семени, H; — сила инерции, вызванная воздействием микрорельефа поля, H; — сила инерции, вызванная воздействием мезорельефа поля, H;  $\omega t$  — угол между горизонталью и радиальной осью y, град;  $\gamma$  — мгновенное значение угла между траекторией движения семени и кромкой выступа сбрасывателя, град;  $P_{\rm K}$  — Кориолисова сила, H;  $N_{\rm CG}$  — реакция на семя со стороны сбрасывателя, H;

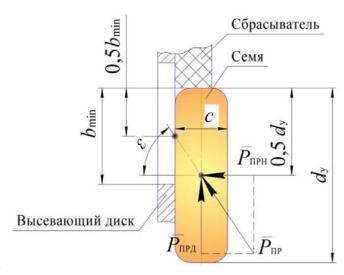


Рис. 3. Схема к определению угла действия силы присасывания

 $m \frac{d^2 x}{dt^2}$  —проекция силы инерции  $m \frac{dv}{dt}$  на ось x, H;  $P_{\text{TP CB}}$  — сила трения семени о поверхность сбрасывателя, H.

С учетом принятых допущений значение нормальной реакции на семя (рис. 3) со стороны высевающего диска  $N_{\rm д}$  может быть найдено, исходя из условия (2).

$$N_{\rm II} = P_{\rm nph} = P_{\rm np} \cos(\arctan(\frac{d_y - b_{\rm min}}{c})).$$
 (2)

где  $P_{\rm nph}$  – проекция силы присасывания  $P_{\rm np}$  на ось, нормальную плоскости высевающего диска, H.

Площадь присасывания в рассматриваемом практически соответствует площади «открытой» части дозирующего элемента. Условно примем,

$$S_{\rm c} = 0.95 t_{\rm H2} b_{\rm min},$$
 (3)

где  $t_{\rm д9}$  — ширина прорези в высевающем диске, м;  $b_{\rm min}$  — минимальный радиальный размер фигурного выреза в прокладке вакуумной камеры в зоне взаимодействия семени с вершиной выступа сбрасывателя, мм.

Соответственно расчетное максимальное значение силы трения высевающего диска о выносимое семя

$$F = 0.86 f k_{\text{II}} t_{\text{A}3} b_{\text{min}} H \cos(\arctan\left(\frac{d_y - b_{\text{min}}}{c}\right)). \tag{4}$$

Значение силы нормальной реакции, действующей на семя со стороны сбрасывателя «лишних» семян  $N_{\rm CB}$  может быть найдено из условия равновесия семени по оси y.

$$\lambda f \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx - \alpha u (t - t_f) dx = 0, \qquad (5)$$

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

где  $m\frac{d^2x}{dt^2}$  — проекция силы инерции  $m\frac{dv}{dt}$  на ось y, H;  $P_{\rm L}$  — центробежная сила, H.

Из данных рис. 3

$$N_{\text{CE}} = P_{\text{прд}} = P_{\text{пр}} \sin(\operatorname{arctg}(\frac{d_y - b_{\min}}{c})),$$
 (6)

где  $P_{\scriptscriptstyle ext{прд}}$  – проекция силы присасывания  $P_{\scriptscriptstyle ext{пр}}$  в плоскости высевающего диска, Н,

$$P_{\text{прд}} = 0.86 k_{\text{II}} t_{\text{д}} b_{\text{min}} H \sin(\arctan(\frac{d_y - b_{\text{min}}}{c})). (7)$$

С учетом того, что

$$P_{\rm TP,CE}(t) = f_{\rm c6} N_{\rm CE}(t), \tag{8}$$

где  $f_{\rm c6}$  – коэффициент трения семени о поверхность высевающего диска, получим

$$N_{\text{CB}}(t) = (0.86 k_{\text{II}} t_{\text{AB}} b_{\text{min}} \times M \sin(\arctan(\frac{d_y - b_{\text{min}}}{c})) \cos\gamma(t) - (mg \pm P_{\text{MH1}}(t) \pm P_{\text{MH2}}(t)) \sin\omega t + M \cos(\frac{d_y - d_{\text{min}}}{c})$$

$$+ m \frac{d^2 y}{dt^2}(t) + P_{\text{II}} / (\cos \gamma(t) - f_{\text{co}} \sin \gamma(t). \quad (9)$$

Материалы предыдущих исследований и справочной литературы позволяют также определить значения основных сил сопротивления:

$$P_{\text{ин1}}(t) = mA_1 v_1^2 \cos(t v_1), \text{ H};$$
 (10)

$$P_{\text{MH}}(t) = mA_{2}v_{2}^{2}\cos(tv_{2}), \text{ H};$$
 (11)

$$P_{\rm II} = m\omega^2 R, \, H, \tag{12}$$

где  $A_{i}$  – амплитуда колебаний на i-м рельефе, м;  $v_i$  – частота колебаний на i-м рельефе, Гц.

$$P_{\rm K} = 2m\omega \frac{dy}{dt},\tag{13}$$

где  $\frac{dy}{dt}$  – скорость радиального смещения семени, м/с.

Скорость радиального смещения семени  $\frac{dy}{dt} = R\omega\cos\alpha_1 tg\gamma$ , тогда

$$P_{\rm K} = 2m\omega^2 R \cos \omega t \, {\rm tg} \gamma. \tag{14}$$

Инерционные составляющие

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = mR\omega^2 \sin \omega t, \text{ m/c}; \qquad (15)$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -mR\omega^2 \sin \omega t t g\gamma, \text{ m/c.}$$
 (16)

Результаты исследований. На основе зависимостей (1–16) в исследовании был проведен расчет рациональных значений минимального радиального размера  $b_{\min}$  фигурного выреза в прокладке вакуумной камеры при взаимодействии семени с вершиной выступа сбрасывателя (рис. 4).

При расчетах принимали следующие исходные данные [6]: средняя ширина семян

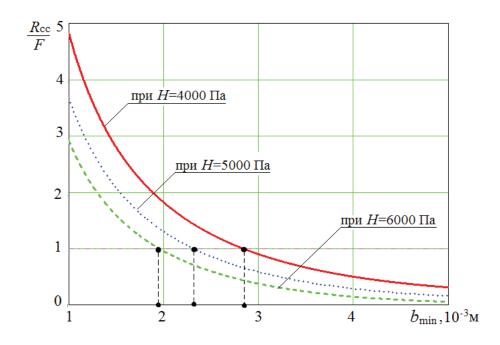


Рис. 4. Зависимости отношения равнодействующей сил сопротивления и расчетного значения силы трения высевающего диска о семяот значений минимального радиального размера  $b_{\min}$  фигурного выреза в прокладке вакуумной камеры



b = 8,0 мм; средняя длина семян a = 10,6 мм; средняя толщина семян c = 4.8 мм; средняя масса семени m = 0.26 г; угловая скорость высевающего диска  $\omega = 6.6 \, \mathrm{c}^{-1}$ ; удаленность семени от оси вращения диска R = 75 мм; коэффициент трения семени о неокрашенную сталь f = 0.38; коэффициент трения семени о полиамид  $f_{\rm CE}$  = 0,4; амплитуда колебаний микрорельефа  $A_1 = 0.065$  м; амплитуда колебаний мезорельефа  $A_2 = 0.15$  м; частота колебаний микрорельефа  $v_1$  = 11,3 Гц; частота колебаний мезорельефа  $v_1 = 3,2$  Гц; угол между горизонталью и радиальной осью  $y \alpha_1 = 24,67$  град (определялся геометрически, исходя из параметров высевающего аппарата – прототипа); мгновенное значение угла между траекторией движения семени и кромкой выступа сбрасывателя  $\gamma = 12$  град (по прототипу).

Из данных, приведенных на рис. 4, видно, что рациональное значение минимального радиального размера  $b_{\min}$  фигурного выреза прокладки вакуумной камеры в зоне действия сбрасывателя «лишних» семян может быть ограничено величиной 3 мм. С учетом того, что высота выступов сбрасывателя составляет около 2 мм, суммарную ширину фигурного выреза в рассматриваемой зоне примем равной 5 мм.

С целью проверки полученного теоретически результата по известным методикам [3, 10] в лабораторных условиях был проведен факторный эксперимент, позволивший определить влияние искомого фактора  $b_{\min}$  (радиальный размер открытой части фигурного выреза прокладки вакуумной камеры при контакте семян со сбрасывателем) на частоту образования единичных подач семян p1 при различных режимах работы вакуумного высевающего аппарата (переменные факторы – величина разрежения H, к $\Pi$ а, в вакуумной камере и угловая скорость  $\omega$ , с $^{-1}$ , высевающего диска). Некоторые результаты прове-

денного экспериментального исследования представлены на рис. 5.

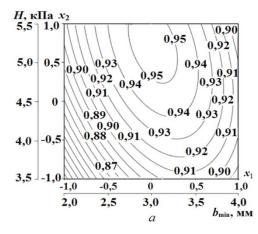
Анализ рис. 5 позволяет сделать ряд выводов. Рациональное значение определяемого радиального размера открытой части дозирующего элемента находится в диапазоне  $b_{\min} = 3,0...3,5$  мм.

Возрастание угловой скорости высевающего диска (соответственно скорости посева) снижает качество работы аппарата, уменьшая частоту единичных подач семян кукурузы с интенсивностью около  $2,86 \%/c^{-1}$ .

Снижение величины разрежения в вакуумной камере привело к увеличению числа пропусков (соответственно – к снижению числа единичных подач) с интенсивностью около 3,33 %/кПа, что указывает на необходимость предотвращения поломок пневматической системы сеялки.

Усовершенствованный аппарат с дозирующими элементами переменного сечения обеспечил высокое качество дозирования семян кукурузы. При оптимальных режимах работы он устойчиво обеспечивает частоту единичных подач семян около 96 %.

Заключение. При посеве кукурузы высокая эффективность подачи семян может быть достигнута за счет использования в пневматических высевающих аппаратах дозирующих элементов переменной геометрии, полученных за счет пересечения фигурного выреза в прокладке вакуумной камеры и продолговатых прорезей в высевающем диске. Однако существующие в этой области наработки имеют первичный характер, исследователями определены не все рациональные параметры таких дозирующих элементов. Одним из их преимуществ является возможность удаления части избыточных семян еще до подхода к сбрасывателю за счет уменьшения радиального размера дозирующего элемента. Оптимальные условия для работы сбрасывателя будут



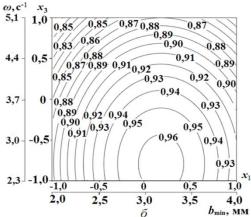


Рис. 5. Изолинии частоты единичных подач семян кукурузы дозирующими элементами переменного сечения

созданы в том случае, если площадь дозирующего элемента обеспечит условия, близкие к критически минимальным, необходимым для удержания одного семени при его взаимодействии со сбрасывателем. Анализ сил, действующих на семя, смещенное вершиной выступа на хвостовике сбрасывателя, показал, что рациональное значение радиального размера фигурного выреза прокладки вакуумной камеры в зоне действия сбрасывателя «лишних» семян может быть ограничено величиной 3 мм. Данные теоретических расчетов были подтверждены результатами факторного эксперимента, который показал, что рациональное значение определяемого радиального размера открытой части дозирующего элемента находится в диапазоне  $b_{\min}$  = 3,0...3,5 мм. С учетом высоты выступов сбрасывателя суммарная ширина фигурного выреза в рассматриваемой зоне составит 5 мм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Должиков В.В. Теоретическое обоснование дозирования семян кукурузы пневмовакуумной сеялкой // Достижения науки агропромышленному комплексу: сб. науч. трудов. Кинель: Самарская ГСХА, 2014. С. 312–316.
- 2. Дубина К.П., Несмиян А.Ю. Оптимизация конструкции высевающего аппарата с адаптивными дозирующими элементами применительно к посеву кукурузы // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 30-летию кафедры теоретической механики и конструирования машин. пос. Майский, 2018. С. 70-74.
- 3. *Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П.* Основы научных исследований в агрономии. М.: КолосС, 2009. 398 с.
- 4. Несмиян А.Ю., Должиков В.В., Асатурян А.В. Совершенствование дозирующих элементов пропашной сеялки вакуумного типа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011.  $N^2$  6 (80). C. 91—95.

- 5. Несмиян А.Ю.,Галаян А.Г. Влияние системы обработки почвы на эффективность технологий возделывания кукурузы // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Т. 3.–  $N^\circ$  31. С. 5–12.
- 6. *Несмиян А.Ю.* Машинно-технологическое обоснование процессов обработки почвы и посева пропашных культур в условиях дефицита влаги: дис.... д-ра техн. наук. Зерноград, 2017. 424 с
- 7. Несмиян А.Ю., Дубина К.П., Мальцев П.С. Совершенствование процесса дозирования семян кукурузы вакуумным аппаратом точного высева // Вестник Башкирского государственного аграрного университета.  $2018. N^2 2 (46). C. 111-117.$
- 8. Патент на пол. мод. 154364Российская Федерация, МПК А 01 С 7/04. Пневматический высевающий аппарат / Дубина К.П., Несмиян А.Ю., Хижняк В.И., Реуцкий М.А., Должиков В.В., Асатурян С.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет».  $N^\circ$  2015105664/13; заявл. 18.02.2015; опубл. 20.08.2015, Бюл.  $N^\circ$  23. 3 с.: ил.
- 9. Несмиян А.Ю. Оптимизация вакуумных высевающих аппаратов пропашных сеялок / А.Ю. Несмиян [и др.]. Зерноград, 2013. 176 с.
- 10. Черноволов В.А. Основы научных исследований. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2014. 112 с.

**Дубина Константин Павлович,** аспирант кафедры «Технологии и средства механизации агропромышленного комплекса», Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской государственный аграрный университет. Россия.

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21.

Тел.: (86359) 43-3-80.

**Ключевые слова:** кукуруза; вакуумный высевающий аппарат; дозирующий элемент переменного сечения; сбрасыватель «лишних» семян; фигурный вырез прокладки; единичная подача семян.

## OPTIMIZATION OF SUPPLY OF CORN SEEDS ACCURATE ACCELERATING VARIABLE SECTION

**Dubina Konstantin Pavlovich,** Post-graduate Studentof the chair "Technologies and Means of Mechanization of the Agroindustrial Complex", Azov-Black Engineering Institute FSBEE HE Don State Agrarian University. Russia.

**Keywords:** corn; vacuum sowing machine; dosing element of variable cross-section; the dumper of «extra seeds»; figured cutout; single seed supply.

It is determined that when cornsowing, the high efficiency of seed supply can be achieved in the sowing machine by using variable-area dosing elements, formed by crossing the elongated holes in the sowing disk with a figured cutout in the gasket of the vacuum chamber.

2019

