УДК 631.331

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-111-117

А.Ю. Несмиян, К.П. Дубина, П.С. Мальцев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЕМЯН КУКУРУЗЫ ВАКУУМНЫМ АППАРАТОМ ТОЧНОГО ВЫСЕВА

Ключевые слова: сеялка точного высева; вакуумный высевочный аппарат; адаптивные дозирующие элементы; модернизация; единичная подача семян.

Введение. Кукуруза – уникальная сельскохозяйственная культура многоцелевого использования. В нашей стране на её долю приходится почти 5 % посевных площадей, причем в последние годы этот показатель постоянно увеличивается, например, объемы производства кукурузы на зерно к 2015 году по сравнению с концом XX века выросли более чем в два с половиной раза и составили 2770,7 тыс. га [1]. Одной из основополагающих операций при возделывании кукурузы является посев. Его необходимо выполнять при сочетании оптимальной температуры (+10 °C) и влажности (18–20 %) почвы на глубине предстоящей заделки семян. Поэтому операция должна проводиться на достаточно высоких скоростях в сжатые агротехнические сроки (7–14 суток). Отклонение от оптимальных сроков сева кукурузы в засушливых условиях может привести к недобору 7...34 % урожая [2]. Растения кукурузы требовательны к площади питания, поскольку чувствительны к уровню обеспеченности светом и обладают разветвленной корневой системой [3]. Экспериментально установлено [4], что при возрастании коэффициента вариации шага высева на 1 % урожайность кукурузы по зерну в среднем снижается на 0,143 %, поэтому при посеве недостаточно обеспечить рациональную усредненную густоту стояния растений, необходимо еще добиться высокой равномерности их распределения.

Соответственно кукурузные сеялки должны обеспечивать высокое качество распределения семян при значительных рабочих скоростях. В то же время при проведении стендовых испытаний в условиях МИС страны было установлено, что уже при имитации скорости движения агрегата 6–8 км/ч частота «нулевых» подач семян составляет около 4,5 % [5], что значительно выше допуска агротребований $[p_0] = 2 \%$. Низкое качество работы аппаратов провоцирует нерациональное использование площади посева и заведомый недобор урожая.

Цель исследования – повышение производительности аппаратов точного высева, обеспечение высокого качества дозирования семян кукурузы для развития посевной техники, имеющей перспективы промышленного использования.

Обсуждение результатов. Высевочный аппарат – один из важнейших узлов пропашной сеялки, конструктивное совершенство которого в значительной степени определяет качество распределения семян по площади поля [6, 11, 12]. Анализ данных о типах высевочных аппаратов, наиболее широко представленных на рынке сельскохозяйственной техники, показал [3], что в производстве наиболее популярны вакуумные высевочные аппараты с вертикальным высевочным диском, дозирующими элементами в форме круглых присасывающих отверстий, центрально расположенным ворошителем семян и плоским ступенчатым сбрасывателем (отражателем) «лишних» семян [3]. В таких высевочных аппаратах поштучный захват семян осуществляется за счет силы присасывания $P_{пр}$, возникающей под действием разрежения в вакуумной камере, а вынос семян из общего слоя происходит под воздействие силы трения F поверхности высевочного диска о присасываемое семя. Причем гипотетически предполагается, что величины этих сил пропорциональны площади присасывающих отверстий высевочного диска S_o . Однако дополнительное исследование показало, что семя, захваченное дозирующим элементом, при движении раздвигает вышележащий слой семян (рисунок 1). После смыкания семени на траектории движения присасывающих отверстий в большинстве случаев располагаются так, что площадь перекрытия S_c ими присасывающего отверстия не равна площади самого дозирующего элемента S_o [3]. Поэтому в реальном процессе сила присасывания пропорциональна площади контакта S_c , значение которой носит вероятностный характер и в среднем существенно меньше значения S_o . При высоких скоростях посева это снижает эффективность захвата семян, приводит к росту числа «пропусков».

Для устранения выявленного недостатка к использованию в сельскохозяйственном производстве предложен высевочный аппарат с «адаптивными» дозирующими элементами [7, 8], образованными пересечением радиальных прорезей в высевочном диске с фигурным вырезом в прокладке вакуумной камеры (рисунок 2).

Рисунок 1

Возможное расположение семян относительно присасывающего отверстия

Рисунок 2

Схема образования «адаптивного» дозирующего элемента

Преимущества применения «адаптивных» дозирующих элементов заключаются в следующем: их радиальное расположение и значительный продольный размер в нижней части семенной камеры позволяют обеспечить гарантированное полное перекрытие дозирующего элемента семенами, примыкающими к высевашему диску; по мере выноса семян из общего слоя площадь такого дозирующего элемента уменьшается, что приводит к самоудалению части «лишних» семян, облегчая в дальнейшем работу сбрасывателя; изменение степени перекрытия радиального дозирующего элемента сбрасывателем «лишних» семян осуществляется в 1,2...1,4 раза более плавно, чем при использовании круглых присасывающих отверстий, что облегчает регулировку положения сбрасывателя в полевых условиях; малое значение площади дозирующего элемента после прохождения зоны действия сбрасывателя «лишних» семян позволяет снизить потери воздуха, облегчить условия работы пневмосистемы сеялки; малый тангенциальный размер дозирующих элементов предотвращает западание в них семян, облегчает их сход в борозду после отсечки вакуума, что положительно сказывается на равномерности распределения семян по длине рядка.

Однако для предложенной конструкции высевашего аппарата также характерен ряд недостатков.

Как в классическом, так и в предложенном высевашем аппарате вероятность образования «пропусков» дозирующими элементами зависит от соотношения сил [9]:

$$\xi = \frac{F}{R}, \quad (1)$$

где R – равнодействующая сил сопротивления выносу семени, Н.

Если данное соотношение будет больше единицы, то вероятность образования «пропусков» равна нулю ($\xi_i \geq 1$, $p_{0i} = 0$), если же $\xi_i < 1$, то $p_{0i} = 1$.

Равнодействующая $\bar{R}$ сил сопротивления выносу складывается из следующих составляющих: сила бокового трения $\bar{P}_{\text{тр}}$ слоя семян о присасываемое отверстие, сила давления вышележащего слоя семян $\bar{P}_B$, сила лобового сопротивления слоя семян $\bar{P}$, сила тяжести $\bar{mg}$, сила инерции $\bar{P}_{\text{ин}}$, центробежная сила $\bar{P}_{\text{ц}}$, а также силы инерции, обусловленные воздействием неровностей рельефа поля. К силе сопротивления условно относят и силу подпора семян ворошителем $\bar{P}_{\text{пв}}$, меняя знак на обратный [9].

Существенной составляющей силы сопротивления является сила инерции $P_{\text{ин}}$, доля которой в значении R доходит до 25 % [9]. Влияние этой силы обусловлено необходимостью «разогнать» семя, движущееся под воздействием ворошителя, до скорости дозирующего элемента. В упрощенной форме

$$P_{\text{ин}} = \frac{2m\omega^2(R_0 - R_{\text{сг}})^2}{s_{\text{дз}}}, \quad (2)$$

где m – масса семени, кг; ω – угловая скорость высевашего диска, с^{-1} ; R_0 – радиус расположения центра масс семени относительно оси вращения высевашего диска, м; $R_{\text{с}}$ – радиус траектории движения внешних кромок лопастей ворошителя, м; τ – коэффициент проскальзывания семян относительно ворошителя; $s_{\text{дз}}$ – тангенциальный размер дозирующего элемента, м.

Из выражения (2) видно, что сила инерции прямо пропорциональна квадрату угловой ско-

рости высевающего диска (линейно зависит от скорости посева) и обратно пропорциональна тангенциальному размеру дозирующего элемента (т. е. пути, на котором происходит захват семени).

Применение радиальных дозирующих элементов приводит к заведомому уменьшению их тангенциального размера и, как следствие, к росту силы инерции $P_{ин}$ и равнодействующей

R сил сопротивления. В свою очередь это провоцирует возрастание вероятности образования «нулевых» подач семян, особенно при высоких скоростях посева. Для устранения данного недостатка предлагается продольные прорезы на высевающем диске изготавливать таким образом, чтобы их длинные оси были ориентированы к радиальным лучам под определенным углом α (рисунок 4).

Рисунок 3

Схема сил, действующих на присасываемое семя в слое семян с учетом колебаний высевающего аппарата

Рисунок 4

Схема образования дозирующих элементов в высевающем аппарате предложенной конструкции:

- 1 – высевающий диск; 2 – прокладка;
- 3 – сбрасыватель «лишних» семян

В этом случае тангенциальный размер дозирующего элемента будет равен $s_{дз} = \frac{b_{дз}}{\cos \alpha}$ (где $b_{дз}$ – ширина прореза в высевающем диске, м), т. е. сила инерции уменьшится в $\sec \alpha$ раз. Соответственно увеличение значения угла α будет способствовать повышению захватывающей способности дозирующего элемента, снижению вероятности образования «пропусков». Однако чрезмерное увеличение угла α приведет к преобладанию тангенциального

расположения прореза на диске, что снизит качество работы сбрасывателя «лишних» семян.

Для определения рационального значения угла α наклона прорезей в высевающем диске к условным радиальным лучам в исследовании был проведен факторный эксперимент [10] при высеве семян кукурузы гибрида «Зерноградский 288 МВ». В эксперименте исследовалось взаимное влияние следующих факторов: x_1 – угловая скорость высевающего диска (ω , c^{-1}) и x_2 – угол отклонения продольных осей прорезей высевающего диска (рисунок 5) от радиального направления (α , град). В качестве параметра оптимизации принимали частоту единичных подач p_1 семян «адаптивными» дозирующими элементами. Эксперимент проводился в лабораторных условиях на компьютеризированном стенде с использованием высевающего аппарата сеялки МС-8. При этом устанавливались следующие параметры и режимы работы высевающего аппарата: ширина прорезей в высевающих дисках $b_{дз} = 3$ мм; разрежение в вакуумной камере $H = 5$ кПа; количество прорезей на диске – 20 шт. (рисунок 5), радиальный размер выреза в прокладке вакуумной камеры – 3 мм.

Анализ данных рисунка 6 позволяет сделать вывод, что рациональное значение угла

отклонения продольных осей прорезей в высевающем диске от радиального направления составляет $\alpha_{\text{opt}} = 12...15$ град. Причем при увеличении угловой скорости ω высевающего диска искомый угол α необходимо уменьшать до значений $10...13$ град, что может быть объяснено влиянием скоростных режимов высевающего диска на показатели работы сбрасывателя «лишних» семян. При этом необходимо отметить устойчивость работы аппарата предло-

женной конструкции: даже увеличение угловой скорости высевающего диска в 2,2 раза привело к снижению частоты единичных подач всего на два процента. Кроме того, эксперимент подтвердил известную информацию о том, что увеличение угловой скорости высевающего диска (скорости посева) отрицательно сказывается на качестве посева.

Результаты эксперимента представлены на рисунке 6.

Рисунок 5
Набор экспериментальных высевающих дисков

Рисунок 6
Изолинии единичной подачи семян кукурузы высевающим аппаратом предложенной конструкции

Рисунок 7
Показатели качества работы вакуумных высевающих аппаратов различных конструкций

Дополнительно в исследовании была проведена сравнительная оценка показателей качества работы высевающих аппаратов различных

конструкций при изменении угловой скорости высевающего диска. Эксперимент проводился в тех же условиях, при этом устанавливались

следующие параметры и режимы работы высевальных аппаратов: ширина прорезей в высевальных дисках $b_{\text{пр}} = 3$ мм; диаметр присасывающих отверстий серийного диска – 5 мм; разрежение в вакуумной камере $H = 5$ кПа; количество дозирующих элементов на дисках – 20 шт., минимальный радиальный размер выреза в прокладке вакуумной камеры – 3 мм (для аппаратов с «адаптивными» дозирующими элементами). В качестве основного показателя качества работы высевальных аппаратов принималась частота единичной подачи семян p_1 .

Результаты сравнительного эксперимента в графическом виде представлены на рисунке 7. Применение радиальных «адаптивных» дозирующих элементов способствует повышению вероятности образования единичных подач в среднем на 1,6 %. При этом «угловое» расположение дозирующих элементов позволяет добиться дополнительного повышения качества работы аппарата. В сравнении с серийным вы-

севающим аппаратом с круглыми присасывающими отверстиями применение аппарата предложенной конструкции увеличивает частоту единичных подач семян на 5 %.

Вывод. Применение высевальных аппаратов с «адаптивными» дозирующими элементами способствует повышению качества дозирования семян кукурузы. При этом наиболее рациональным является значение угла отклонения продольных осей прорезей в высевальном диске от радиального направления $\alpha \approx 12$ град. В сравнении с серийным высевальным аппаратом применение аппарата предложенной конструкции привело к возрастанию частоты единичных подач семян на 5 %, при этом аппарат с наклонными «адаптивными» дозирующими элементами в лабораторных условиях продемонстрировал высокую устойчивость работы: в диапазоне угловой скорости высевального диска 2,3–5,1 рад/с частота единичных подач семян составила $p_1 = 97$ –100 %, что близко к оптимуму.

Библиографический список

1. РОССТАТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gks.ru/bgd/free>. Дата обращения: 23.09.2017.
2. Багринцева, В.Н. Влияние раннего срока сева на урожайность новых гибридов кукурузы [Текст] / В.Н. Багринцева, Т.Н. Сухоярская, С.В. Никитин. Земледелие, 2011. № 6. С. 31–32.
3. Несмиян, А.Ю. Оптимизация вакуумных высевальных аппаратов пропашных сеялок [Текст]: монография / А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, В.В. Должиков, А.В. Яковец, Д.Е. Шаповалов. Зеленоград: АЧГАА, 2013. 186 с.
4. Островский, Н.В. Допуск на вдольрядную неравномерность размещения семян кукурузы при посеве [Текст] / Н.В. Островский // Техника в сельском хозяйстве. 1990. № 3. С. 14–18.
5. База протоколов результатов испытаний сельскохозяйственной техники [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sistemamis.ru/protocols>. Дата обращения: 01.10.2017 г.
6. Руденко, Н.Е. Инновационный универсальный конусный высевальный аппарат [Текст] / Н.Е. Руденко, Е.В. Кулаев, Д.С. Калугин, П.А. Попов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. №4. С. 58–64.
7. Должиков, В.В. Теоретическое обоснование дозирования семян кукурузы пневмовакuumной сеялкой [Текст] / В.В. Должиков // Достижения науки агропромышленному комплексу. Сборник научных трудов. Кинель: Самарская ГСХА, 2014. С. 312–316.
8. Пат. на пол. мод. 154364 Российская Федерация, МПК А 01 С 7/04. Пневматический высевальный аппарат [Текст] / К.П. Дубина, А.Ю. Несмиян, В.И. Хижняк, М.А. Реуцкий, В.В. Должиков, С.В. Асатурян; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет». № 2015105664/13; заявл. 18.02.2015; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23. 3 с.: ил.
9. Бертов, А.А. Обоснование рациональной конструкции ворошилки пневматического высевального аппарата [Текст] / А.А. Бертов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1986. № 5. С. 34–35.
10. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А.А. Спиридонов. Москва: Машиностроение, 1981. 184 с.
11. Мударисов, С.Г. Моделирование движения воздушного потока в пневмосистемах сельскохозяйственных машин [Текст] / С.Г. Мударисов, А.В. Шарафутдинов, И.Д. Бадретдинов // В сборнике: Достижения науки – агропромышленному производству: материалы XLVIII Международной научно-технической конференции. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Департамент научно-технологической политики и образования, ФГОУ ВПО Челябинский государственный агроинженерный университет. 2009. С. 148–151.
12. Мударисов, С.Г. Моделирование распределителя семян пневматической сеялки [Текст] / С.Г. Мударисов, И.Д. Бадретдинов, А.В. Шарафутдинов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 3. С. 8–9.

Сведения об авторах

1. **Несмиян Андрей Юрьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии и средств механизации агропромышленного комплекса, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21, e-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru.

2. **Дубина Константин Павлович**, аспирант кафедры технологии и средств механизации агропромышленного комплекса, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21, e-mail: longonor@yandex.ru.

3. **Мальцев Петр Сергеевич**, инженер, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Ленина, 21, e-mail: achgaa@achgaa.ru.

Кукуруза – уникальная сельскохозяйственная культура многоцелевого использования, посев которой проводится в сжатые агротехнические сроки. Поэтому кукурузные сеялки должны обеспечивать высокое качество распределения семян при значительных рабочих скоростях. Целью представленного исследования является повышение производительности аппаратов точного высева, конструктивное совершенство которых в значительной степени определяет качество распределения семян кукурузы по площади поля. Одним из путей повышения производительности аппаратов точного высева является применение «адаптивных» дозирующих элементов, образованных пересечением радиальных прорезей в высевающем диске с фигурным вырезом в прокладке вакуумной камеры. Однако теоретические расчеты показали, что применение радиальных дозирующих элементов приводит к заведомому уменьшению их тангенциального размера, росту силы инерции и равнодействующей сил сопротивления. При высоких скоростях посева это провоцирует возрастание вероятности образования «нулевых» подач семян. Для устранения

данного недостатка предложено продолговатые прорези на высевающем диске изготавливать таким образом, чтобы их длинные оси были ориентированы к радиальным лучам под определенным углом α . В этом случае сила инерции уменьшится в $\sin \alpha$ раз, возрастет захватывающая способность дозирующего элемента, снизится вероятность образования пропусков. Однако чрезмерное увеличение угла α приведет к преобладанию тангенциального расположения прорези на диске, что снизит качество работы сбрасывателя «лишних» семян. Экспериментально установлено, что наиболее рациональным является значение угла отклонения продольных осей «адаптивных» дозирующих элементов прорезей в высевающем диске от радиального направления $\alpha \approx 12$ град. В сравнении с серийным высевающим аппаратом применение аппарата предложенной конструкции привело к возрастанию частоты единичных подач семян в среднем на 5 %, при этом аппарат с наклонными «адаптивными» дозирующими элементами обеспечил частоту единичных подач семян $p_1 = 97\text{--}100$ % при угловых скоростях высевающего диска до 5,1 рад/с.

A. Nesmiyan, K. Dubina, P. Maltsev

IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF CORN SEED DOSING WITH THE USE OF THE VACUUM PRECISION DRILL

Key words: *precision drill; vacuum sowing apparatus; adaptive dosing elements; modernization; singular seed supply.*

Authors' personal details

1. **Nesmiyan Andrey**, Doctor of technical sciences, associated professor, professor of the department of Technologies and Means of Mechanization of Agroindustrial Sector, Azov and Black Sea Institute of Engineers Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Agrarian University, 347740, Rostov district, Zernograd, Lenin St., 21, e-mail: nesmiyan.andrei@yandex.ru.

2. **Dubina Konstantin**, Post-graduate student of the department of Technologies and Means of Mechanization of Agroindustrial Sector, Azov and Black Sea Institute of Engineers Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Agrarian University, 347740, Rostov district, Zernograd, Lenin St., 21, e-mail: longonor@yandex.ru.

3. **Maltsev Piter**, Engineer, Azov and Black Sea Institute of Engineers Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Agrarian University, 347740, Rostov district, Zernograd, Lenin St., 21, e-mail: achgaa@achgaa.ru.

Corn is a unique agricultural crop of multipurpose use, sowing of which is carried out in tight agrotechnical terms. Therefore, corn seeders must ensure a high quality seed distribution at significant operating speeds. The purpose of the present study is to increase the productivity and precision seeding machines, the constructive perfection of which largely determines the quality of maize seed distribution over the field area. One way to increase the productivity of precision seeding machines is to use «adaptive» metering elements formed by the intersection of radial slots in the sowing disk with a figured notch in the vacuum chamber lining. However, theoretical calculations have shown that the use of radial metering elements leads to a deliberate decrease in their tangential size, an increase in inertia force and a resultant resistance force. At high seeding rates this provokes an increase in the probability of formation of «zero» seed feeds. To overcome this disadvantage, it is suggested that elongated slots on

the sowing disk be manufactured in such a way that their long axes are oriented to radial rays at a certain angle α . In this case, the force of inertia will decrease by a factor, the capturing ability of the dosing element will increase, and the probability of formation of gaps will decrease. However, an excessive increase in the angle will lead to a predominance of the tangential positioning of the slot on the disc, which will reduce the quality of the «extra» seeder. It has been experimentally established that the most rational angle is the angle of deviation of the longitudinal axes of the «adaptive» dosing elements of the slots in the sowing disk from the radial direction $\alpha \approx 12$ degrees. In comparison with the serial sowing device, the use of the apparatus of the proposed design led to an increase in the frequency of individual seed feedings by an average of 5 %, while the device with inclined «adaptive» dosing elements ensured a frequency of single seed feeds $p_1 = 97\text{--}100\%$ at angular speeds of the sowing disk up to 5,1 rad / s.

© Несмиян А.Ю., Дубина К.П., Мальцев П.С.

УДК 631.31, 631.316.022

DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-117-129

Р.С. Рахимов, С.Г. Мударисов, И.Р. Рахимов

РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗОНЕ УРАЛА

Ключевые слова: почвенно-климатические условия; свойства почвы; сельскохозяйственные культуры; технология; обработка почвы; посев; комплекс машин; металлоемкость; тяговое сопротивление; производительность; урожайность.

Введение. Почвенно-климатические условия зоны Урала и других регионов России разнообразны. Они отличаются друг от друга величиной положительных температур и осадков в течение года и в вегетационный период; характером рельефа поверхности поля; типом и свойствами почв; подверженности почв различным видам эрозии (водной, ветровой, механической) и другими факторами. Результаты исследований и производственный опыт показывают, что в зависимости от этих факторов и требований высеваемых зерновых, кормовых и технических культур в хозяйствах зоны должны быть внедрены различные способы обра-

ботки почвы и посева, создающие условия для роста и развития растений и обеспечивающие необходимую плотность сложения почвы, а также экономное использование накопленной влаги и получение высоких урожаев [1–9]. В связи с этим существующие ранее технологии возделывания сельскохозяйственных культур (традиционная, почвозащитная, минимальная, нулевая), которые предусматривали ежегодное применение одних и тех же почвообрабатывающих и посевных машин, стали неэффективными, что вызывает необходимость их совершенствования. Поэтому разработка новых технологий и способов обработки почвы, а также