

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМНОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА С АДАПТИВНЫМИ ДОЗИРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ВЫСЕВА КУКУРУЗЫ

THE SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF SOWING MACHINE WITH ADAPTIVE DOSING ELEMENTS FOR SEEDING OF CORN

К.П. ДУБИНА
А.Ю. НЕСМИЯН, К.Т.Н.
В.В. ДОЛЖИКОВ, К.Т.Н.
А.А. АШИТКО

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО
 Донской ГАУ, Зерноград, Россия, achgaa@achgaa.ru

K.P. DUBINA
A.YU. NESMIYAN, PhD in Engineering
V.V. DOLZHIKOV, PhD in Engineering
A.A. ASHITKO

Azov-Black Sea Engineering Institute of the FSBEU HE Don SAU,
 Zernograd, Russia, achgaa@achgaa.ru

Для посева кукурузы применяют сеялки точного высева, одним из наиболее сложных и ответственных узлов которых является высевающий аппарат. Цель представленного исследования – обоснование рациональной конструкции и параметров дозирующих элементов и сбрасывателя «лишних» семян вакуумного высевающего аппарата, обеспечивающих повышение равномерности подачи семян кукурузы в борозду. К использованию в производстве предложен вакуумный высевающий аппарат, в котором продолговатые присасывающие отверстия изготовлены на высевающем диске таким образом, что их длинные оси ориентированы к радиальному направлению под углом α . Кроме того, в конструкции высевающего аппарата толщину первых трех выступов сбрасывателя «лишних» семян предложено изготавливать ступенчато. Опыты, проведенные по матрице ортогонального плана второго порядка, показали, что для высева семян кукурузы рациональными являются следующие параметры и настроечные режимы такого аппарата: ширина присасывающих отверстий $t_{\text{лз}} = 3$ мм; наименьшая ширина прорези в прокладке вакуумной камеры $t = 3,0...3,5$ мм; разрежение в вакуумной камере $H = 5$ кПа; толщина входной кромки рабочей части сбрасывателя «лишних» семян $h = 1,5$ мм; угол отклонения продольных осей присасывающих отверстий высевающего диска от радиального направления $\alpha = 12...15$ град. В лабораторных условиях аппарат обеспечил частоту единичных подач семян $p_1 = 99,0...99,5$ %, что близко к технологическому оптимуму. При этом качество дозирования семян оставалось устойчивым даже при существенном увеличении угловой скорости высевающего диска.

Ключевые слова: сеялка точного высева, вакуумный аппарат, адаптивный дозирующий элемент, сбрасыватель «лишних» семян, модернизация, единичная подача семян.

For sowing of corn precision seeders are used, one of the most complex and responsible details of which is a sowing machine. The purpose of this study is to substantiate the rational design and parameters of the dosing elements and the «superfluous» seeds seeder of the vacuum sowing device, which ensure an even increase in the supply of corn seeds to the furrow. A vacuum sowing machine is proposed for use in production, in which elongated suction holes are made on the sowing disk in such a way that their long axes are oriented to a radial direction at α angle. In addition, in the design of the sowing apparatus, the thickness of the first three projections of seeder for «superfluous» seeds is proposed to be made stepwise. Experiments carried out on the matrix of the orthogonal plan of the second order showed that the following parameters and tuning regimes of such a machine are rational for sowing corn seeds: width of suction holes $t_{\text{лз}} = 3$ mm; the smallest slot width in the vacuum chamber liner $t = 3,0...3,5$ mm; exhaustion in the vacuum chamber $H = 5$ kPa; thickness of the input edge of the working part of the «superfluous» seeds seeder $h = 1,5$ mm; angle of deviation of the longitudinal axes of the suction holes of the sowing disc from the radial direction $\alpha = 12...15$ deg. Under laboratory conditions the machine provided the frequency of single seed feeds $p_1 = 99,0...99,5$ %, which is close to the technological optimum. At the same time, the quality of seed dosing remained stable even with a significant increase in the angular velocity of the sowing disk.

Keywords: precision seeder; vacuum sowing machine; adaptive dosing element; kicker of «superfluous» seeds seeder; modernization; single seed feed.

Введение

Кукуруза занимает значительную часть рынка сельскохозяйственной продукции. Так, например, в нашей стране под посевами кукурузы занято более 4 % посевных площадей [1], а в мире, наряду с пшеницей и рисом, она занимает лидирующее место в объемах производства зерна [2]. Для посева кукурузы применяют сеялки точного высева, обеспечивающие примерно равномерное распределение семян по площади поля. Одними из наиболее сложных и ответственных узлов таких сеялок являются высевающие аппараты, осуществляющие поштучное или групповое дозирование семян и подачу их в борозду. Причем в Европе и европейской части России более 80 % сеялок оснащены вакуумными высевающими аппаратами с плоскими пилообразными сбрасывателями «лишних» семян (далее – сбрасыватели) и дозирующими элементами в виде круглых присасывающих отверстий (рис. 1, а) [3, 4]. Применение таких дозирующих элементов и сбрасывателей позволяет упростить конструкцию аппарата, однако в то же время они недостаточно обоснованы технологически, и зачастую их использование приводит к снижению качества подачи семян, особенно в тяжелых условиях работы (высокая скорость движения агрегата, изношенность узлов пневмосистемы, «неудобные» физико-механические свойства семян и др.) [4].

Цель исследования

Целью представленного исследования является обоснование рациональной конструкции и параметров дозирующих элементов и сбрасывателя «лишних» семян вакуумного высевающего аппарата, обеспечивающих повышение равномерности подачи семян кукурузы в борозду.

Модернизация конструкции высевающего аппарата

Проведенный анализ работ позволил выявить достаточно простой и эффективный способ повышения активности захвата семян дозирующими элементами [4] при одновременном уменьшении числа двойных подач семян. Для этого в конструкции высевающего аппарата предложено использовать адаптивные дозирующие элементы переменной площади присасывания [5, 6]. Роль таких дозирующих элементов выполняют щели, образованные пересечением радиальных прорезей на высевающем диске и фигурной прорези в прокладке вакуумной камеры (рис. 1, б и 1, в).

В нижней части семенной камеры площадь дозирующего элемента максимальна, а радиальный размер обеспечивает гарантированное попадание как минимум одного семени на траекторию его движения. При дальнейшем вращении высевающего диска, когда сила противодействия со стороны вышележащего

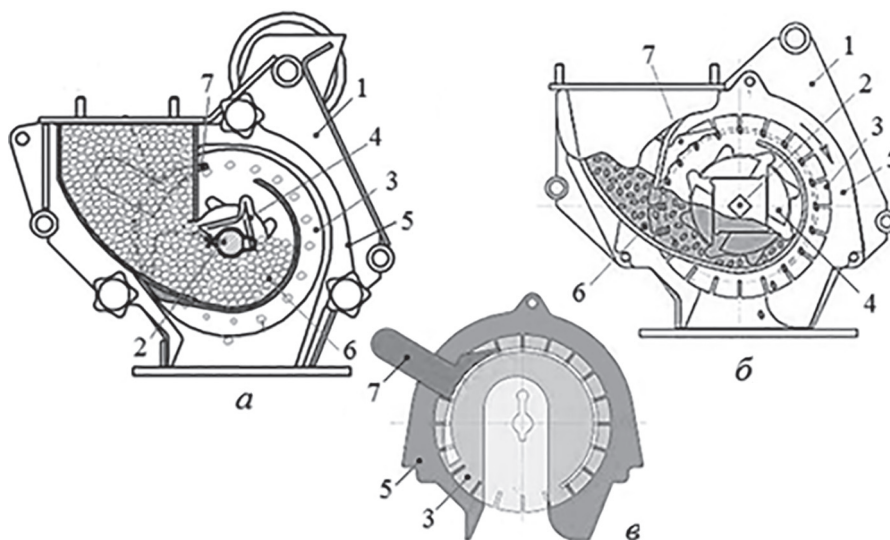


Рис. 1. Элементы конструкции вакуумных высевающих аппаратов:

а – схема серийного вакуумного высевающего аппарата; б – схема вакуумного высевающего аппарата с адаптивными дозирующими элементами; в – схема образования адаптивных дозирующих элементов;

1 – корпус; 2 – вал приводной; 3 – диск высевающий; 4 – ворошитель семян; 5 – прокладка;
6 – камера семенная (заборная); 7 – сбрасыватель «лишних» семян

слоя семян снижается, площадь дозирующего элемента также уменьшается, что позволяет снизить вероятность образования двойных подач, облегчает условия работы сбрасывателя «лишних» семян, снижает непроизводительный расход воздуха.

При этом рядом теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что при высеве кукурузы рациональная ширина радиальных прорезей в высевающем диске должна составлять 3 мм [5, 6].

Дополнительное исследование, проведенное при высеве семян кукурузы с использованием методик факторного эксперимента, позволило определить влияние таких параметров, как наименьшее значение радиального размера t выреза в прокладке вакуумной камеры (поз. 5 на рис. 1, б и 1, в), разрежения H в вакуумной камере и угловой скорости ω высевающего диска на частоту образования единичных подач семян p_1 . Отдельные результаты экспериментов представлены на рис. 2.

Анализ графиков, представленных на рис. 2, позволяет сделать выводы, приведенные ниже.

Рациональное наименьшее значение радиального размера выреза в прокладке вакуумной камеры находится в диапазоне $t = 3,0 \dots 3,5$ мм.

Рост угловой скорости высевающего диска отрицательно влияет на качество работы аппарата. Так, например, увеличение угловой скорости ω диска с 2,3 до 5,1 рад/с привело к снижению частоты единичных подач семян в среднем на 8 %.

При заданных параметрах аппарата и высева кукурузы величина разрежения H в вакуумной камере должна быть не менее 5,0 кПа.

Ее снижение до 3,5 кПа уменьшает частоту единичных подач в среднем на 5 %, очевидно, за счет роста частоты пропусков. Это говорит о необходимости избегать неисправностей пневматической системы сеялки.

В среднем высевающий аппарат предложенной конструкции продемонстрировал высокое качество посева кукурузы, при оптимальных настройках и режимах работы обеспечивая около 96 % единичных подач семян.

Однако дальнейший теоретический анализ выявил ряд недостатков, характерных и для усовершенствованного высевающего аппарата.

Длина пути, на котором происходит захват семени, равна тангенциальному размеру дозирующего элемента [4]. При применении радиальных дозирующих элементов этот параметр в 1,5...1,7 раза меньше, чем при использовании круглых присасывающих отверстий. Это приводит к пропорциональному росту «вредных» сил инерции и снижает эффективность захвата семян.

Смещение «лишних» семян сбрасывателем происходит не в радиальном направлении, что ведет к росту интенсивности изменения рабочей площади дозирующего элемента, снижению плавности регулировки положения сбрасывателя.

Широкогранный сбрасыватель, характерный для большинства современных аппаратов, «жестко» взаимодействует с семенами. При повышенных скоростях посева (свыше 8 км/ч) это приводит к сбиванию не только «лишних», но и основных семян от дозирующих элементов [7]. Уменьшение толщины сбрасывателя ведет к снижению эффективности удаления

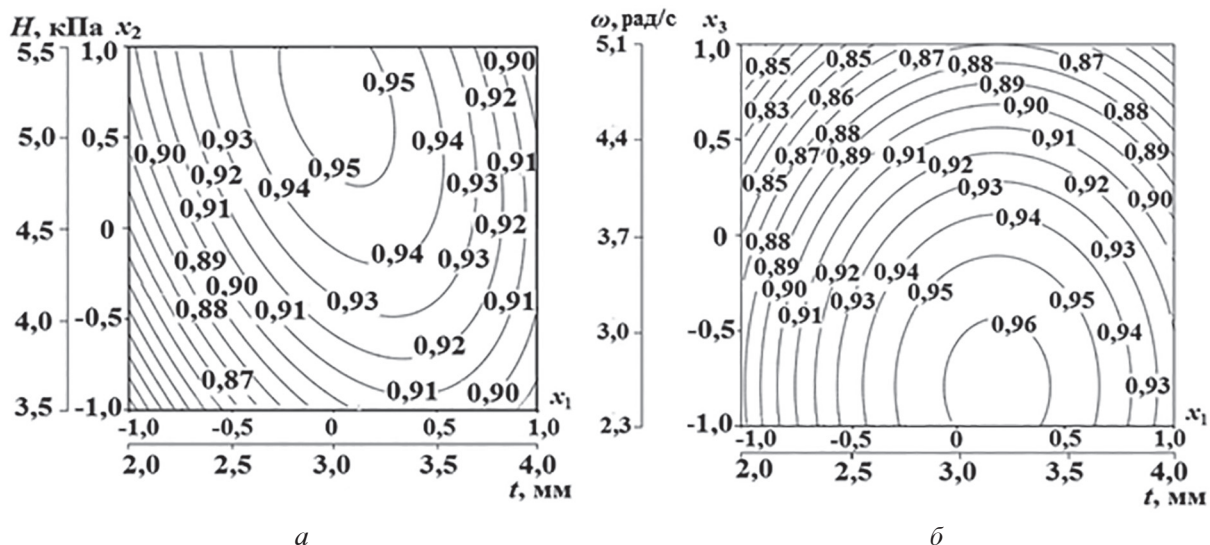


Рис. 2. Изолинии частоты единичных подач семян кукурузы адаптивными дозирующими элементами

групповых подач семян, особенно при незначительных рабочих скоростях.

Для устранения выявленных недостатков к использованию в производстве предлагается вакуумный высевающий аппарат, в котором продолговатые присасывающие отверстия изготовлены на высевающем диске таким образом, что их длинные оси ориентированы к радиальному направлению под углом α (рис. 3). За счет этого ширина дозирующего элемента в тангенциальном направлении увеличивается в раз, а также обеспечивается смещение семян сбрасывателем вдоль длинной оси присасывающего отверстия, что позволяет проводить его регулировку более плавно.

Кроме того, в конструкции высевающего аппарата толщину первых трех (по направлению вращения высевающего диска) пилообразных выступов сбрасывателя «лишних» семян предложено изготавливать ступенчато (рис. 4), таким образом, что толщина каждой последу-

ющей «ступени» по сравнению с предыдущей увеличивается на величину Δ :

$$\Delta = (h_0 - h) / z, \quad (1)$$

где h – толщина входной кромки первого выступа, мм; h_0 – общая толщина хвостовика сбрасывателя «лишних» семян, мм; z – количество «ступеней» на пилообразных выступах сбрасывателя «лишних» семян; $z = 4-6$.

При такой конструкции сбрасывателя его толщина в момент первого контакта с семенем минимальна, что снижает вероятность удаления от дозирующих отверстий или заклинивания основных семян, в то же время наличие входной кромки толщиной h позволяет достаточно эффективно сбивать «лишние» семена. Под воздействием первых тонких «ступеней» семена предварительно «выкатываются» из дозирующих элементов и только потом поочередно смещаются рабочими поверхностями пилообразных выступов в направлении, близком к длинной оси присасывающих отверстий. В то же время «ступени», изготовленные на поверхности хвостовика сбрасывателя, приводят к вибрации семян нормально к плоскости высевающего диска. Под воздействием разнонаправленных колебаний «лишние» семена более эффективно удаляются от дозирующих элементов. Вторая часть хвостовика, имеющая постоянную ширину h_0 , работает так же, как обычный широкогранный сбрасыватель, производя эффективное удаление оставшихся «лишних» семян подобно своим аналогам на серийных машинах.

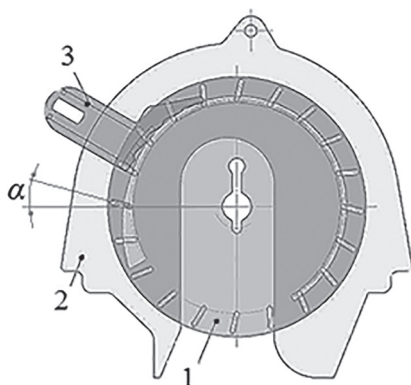


Рис. 3. Схема образования дозирующих элементов в предложенном высевающем аппарате:

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

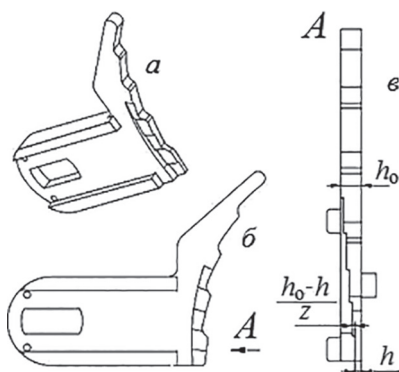


Рис. 4. Сбрасыватель «лишних» семян предложенной конструкции:

- а – внешний вид; б и в – боковой и торцевой виды

Исследование модернизированного аппарата и обсуждение результатов

С целью проверки эффективности предложенного усовершенствования вакуумного высевающего аппарата и обоснования его основных параметров был проведен ряд лабораторных исследований на примере дозирования семян кукурузы гибрида «Зерноградский 285» аппаратом сеялки МС-8 (рис. 5). Опыты проводились по матрице ортогонального плана второго порядка [8, 9]. В качестве исследуемых факторов принимались: x_1 – угловая скорость высевающего диска (ω); x_2 – толщина входной кромки рабочей части сбрасывателя «лишних» семян (h); x_3 – угол отклонения продольных осей присасывающих отверстий высевающего диска от радиального направления (α). Остальные факторы принимались на следующих уровнях: ширина присасывающих отверстий

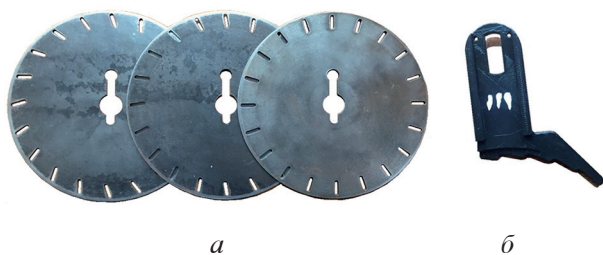


Рис. 5. Узлы усовершенствованного высевающего аппарата:

а – набор экспериментальных высевающих дисков;
б – модернизированный сбрасыватель
«лишних» семян (при $h = 2,5$ мм)

$t_{\text{дз}} = 3$ мм; разрежение в вакуумной камере $H = 5$ кПа; количество присасывающих отверстий – 20 шт.; число «ступеней» изготовленных на сбрасывателе $z = 5$ шт.; общая толщина хвостовика сбрасывателя $h_0 = 5$ мм. За параметр оптимизации принималась частота единичных подач семян дозирующими элементами p_1 .

Более подробная информация о варьировании значений факторов и полученных значениях параметра оптимизации представлена на рис. 6.

Анализ графиков, представленных на рис. 6, позволяет заключить, что рациональными параметрами предложенного высевающего аппарата являются: толщина входной кромки рабочей части сбрасывателя «лишних» семян $h_{\text{опт}} = 1,5$ мм, а угол отклонения продольных осей присасывающих отверстий высевающего диска от радиального направления

$\alpha_{\text{опт}} = 12...15$ град. При этом увеличение угловой скорости высевающего диска (скорости посева) отрицательно сказывается на качестве посева.

Совместный анализ данных рис. 2 и 6 позволил заключить, что применение предложенных усовершенствований в сравнении с простым применением адаптивных, радиально расположенных дозирующих элементов позволило существенным образом повысить как качество, так и стабильность работы вакуумного высевающего аппарата. Полученные в лабораторных условиях показатели единичной подачи семян усовершенствованным аппаратом близки к технологическому оптимуму.

Заключение

В целом, проведенное исследование позволило сделать вывод, что к использованию в производстве рекомендуется высевающий аппарат с адаптивными дозирующими элементами переменной рабочей площади, длинные оси присасывающих отверстий которого на высевающем диске ориентированы под углом α к радиальному направлению. Кроме того, в конструкции высевающего аппарата толщину первых трех пилообразных выступов сбрасывателя «лишних» семян целесообразно изготавливать ступенчато. При этом для посева семян кукурузы рациональными являются следующие параметры и настроечные режимы: ширина присасывающих отверстий $t_{\text{дз}} = 3$ мм; наименьшая ширина прорези в прокладке вакуумной камеры $t = 3,0...3,5$ мм; разрежение в

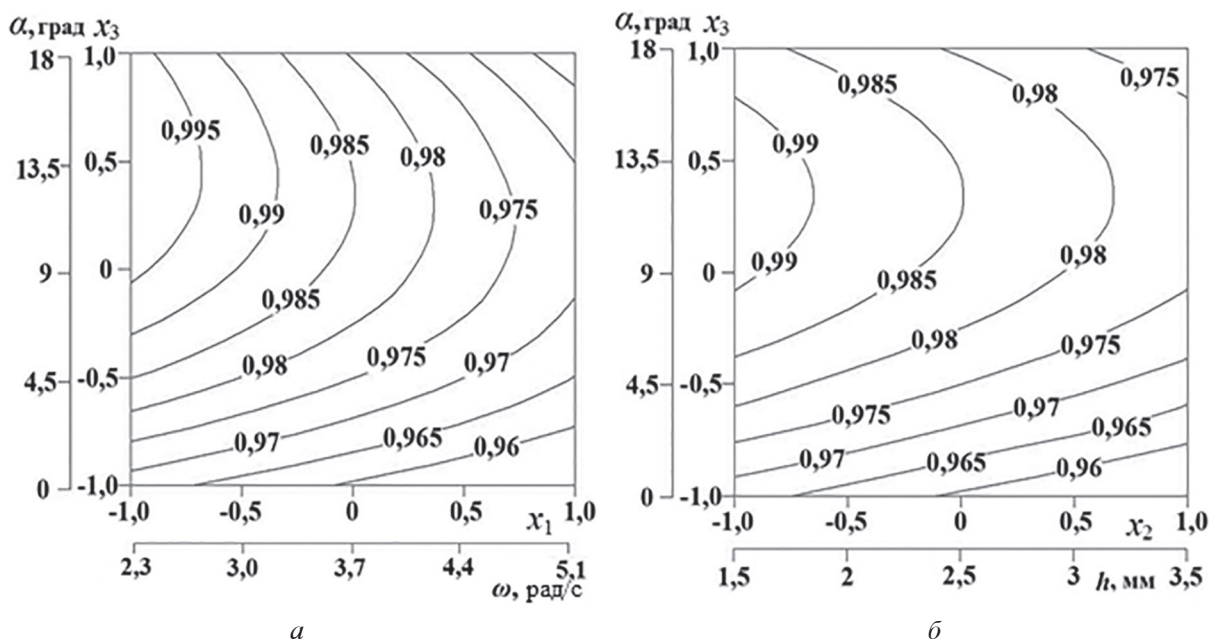


Рис. 6. Изолинии единичной подачи семян кукурузы усовершенствованным высевающим аппаратом

вакуумной камере $H = 5$ кПа; толщина входной кромки рабочей части сбрасывателя «лишних» семян $h = 1,5$ мм; угол отклонения продольных осей присасывающих отверстий высевающего диска от радиального направления $\alpha = 12...15$ град. В лабораторных условиях при оптимальных режимах работы предложенный аппарат обеспечил частоту единичных подач семян $p_1 = 99,0...99,5$ %, что близко к технологическому оптимуму. Причем даже при существенном увеличении угловой скорости высевающего диска частота нулевых подач не опускалась ниже 97 %, что говорит о стабильности реализации технологического процесса посева усовершенствованным аппаратом.

Литература

1. РОССТАТ: сайт. Москва, 2011. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 23.09.2017).
2. Вербицкая Н.М. Интенсификация возделывания кукурузы на зерно. Обзор МС АГРОИНФОРМ. М.: ГОСАГРОПРОМ СССР, 1988. 49 с.
3. Руденко Н.Е., Кулаев Е.В., Калугин Д.С., Попов П.А. Инновационный универсальный конусный высевающий аппарат // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 4. С. 58–64.
4. Несмиян А.Ю., Хижняк В.И., Должиков В.В., Яковец А.В., Шаповалов Д.Е. Оптимизация вакуумных высевающих аппаратов пропашных сеялок. Зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. 176 с.
5. Дубина К.П., Несмиян А.Ю., Хижняк В.И., Реуцкий М.А., Должиков В.В., Асатурян С.В. Пневматический высевающий аппарат: патент на полезную модель № 154364, Российская Федерация. Опубликовано 20.08.2015. Бюл. № 23.
6. Несмиян А.Ю., Должиков В.В., Асатурян А.В. Совершенствование дозирующих элементов пропашной сеялки вакуумного типа // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. № 6 (80). С. 91–95.
7. Яковец А.В., Несмиян А.Ю. Обоснование рациональных параметров плоского сбрасывателя «лишних» семян пневмовакuumного высевающего аппарата // Вестник КрасГАУ. 2012. № 7 (70). С. 114–120.
8. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
9. Кирюшин Б.Д., Усманов Р.Р., Васильев И.П. Основы научных исследований в агрономии. М.: КолосС, 2009. 398 с.

References

1. ROSSTAT: site. Moscow, 2011. URL: <http://www.gks.ru> (reference date: September 23, 2017).
2. Verbitskaya N.M. Intensifikatsiya vozdelvaniya kukuruzy na zerno. Obzor MS AGROINFORM [Intensification of cultivation of corn for grain. Review of MS AGROINFORM], Moscow: GOSAGROPROM USSR, 1988, 49 p.
3. Rudenko N.E., Kulaev E.V., Kalugin D.S., Popov P.A. Innovatsionnyiy universal'nyiy konusnyiy vysevayuschiy apparat [The innovative universal cone sowing device]. Traktory i sel'hozmashiny, 2017, No 4, pp. 58–64 (in Russ.).
4. Nesmiyan A.Yu., Khizhnyak V.I., Dolzhikov V.V., Yakovets A.V., Shapovalov D.E. Optimizatsiya vakuumnnyh vysevayuschiy apparatov propashnyh seyalok: monografiya [Optimization of vacuum sowing machine of row seeders: monograph], Zernograd: FGBOU VPO ACHAA Publ., 2013, 176 p.
5. Patent on the utility model 154364 Russian Federation, IPC A 01 C 7/04. Pnevmaticheskii vysevayuschiy apparat [The pneumatic sowing machine] / Dubina K.P., Nesmiyan A.Yu., Khizhnyak V.I., Reutsky M.A., Dolzhikov V.V., Asaturyan S.V.; FGBOU HPE «Don State Agrarian University», No. 2015105664/13; claimed. 02/18/2015; publ. 08.20.2015, Bul. № 23, 3 p.
6. Nesmiyan A.Yu., Dolzhikov V.V., Asaturyan A.V. Sovershenstvovanie doziruyuschiy elementov propashnoi seyalki vakuumnogo tipa [Perfection of the dosing elements of the vacuum-type row seeder]. Vestnik Altaiyskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University], Barnaul, 2011, No. 6(80), pp. 91–95 (in Russ.).
7. Yakovets A.V., Nesmiyan A.Yu. Obosnovanie rational'nykh parametrov ploskogo sbrasyvatel'ya lishnih semyan pnevmovakuumnogo vysevayushego apparata [Working surface rational parameters of the «extra» seed flat kicker of the pneumatic-vacuum sowing machine]. Vestnik KrasGAU [Bulletin of the KrasSAU], 2012, No. 7 (70), pp. 114–120 (in Russ.).
8. Spiridonov A.A. Planirovanie eksperimenta pri issledovanii tehnologicheskikh protsessov [Planning an experiment in the study of technological processes]. Moscow: Mechanical Engineering Publ., 1981, 184 p.
9. Kiryushin B.D., Usmanov R.R., Vasiliev I.P. Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Moscow: Colossus Publ., 2009, 398 p.