Оптимизация диаметра присасывающих отверстий вакуумного высевача**Андрей Юрьевич Несмиян, Анастасия Павловна Горбатюк, Константин Павлович Дубина, Андрей Варганович Асатурян, Валерий Викторович Должиков**

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, Ростовская обл., г. Зерноград, Россия

e-mail: longonor@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования являлся анализ закономерностей влияния диаметра присасывающих отверстий и глубины вакуума в вакуумной камере аппарата точного посева на вероятность образования групповых подокладов семян. Исследование носило экспериментальный характер и проводилось на специализированном стенде в лабораторных условиях. Полученные результаты показали, что увеличение диаметра присасывающих отверстий (при постоянном значении силы присасывания) ведет к росту частоты образования групповых подокладов семян. Причем при варьировании значений этого фактора от 4 до 5 мм (при посеве кукурузы) изменений в подокладе семян практически не наблюдалось. В то же время, уменьшение диаметра отверстий высевача до значений менее 4 мм приводит к резкому снижению вероятности образования двойных подокладов, а при $d > 5$ мм частота групповых подокладов интенсивно возрастает. Это может объясняться двумя возможными причинами: погрешность опыта, приведшая к искажению результата, или закономерность, связанная с тем, что в этом интервале (4...5 мм) изменение параметра d компенсируется за счет вариативности основных размеров высеваемых семян. В первом случае зависимость образования частоты групповых подокладов от диаметра присасывающих отверстий носит линейный характер, во втором – кубический. Анализ полученных зависимостей показывает, что при диаметре присасывающих отверстий 1...2,9 мм можно обеспечить работу вакуумного высевача с достаточно высоким качеством (практически без образования нулевых и групповых подокладов семян) исключив из конструкции аппарата отражатель. Однако при этом следует уточнить достоверность каждой из полученных зависимостей, поскольку в первом случае необходимое разрежение в вакуумной камере – около 113 кПа, а во втором – «всего» 13,5 кПа.

Ключевые слова: пропашная сеялка; вакуумный высевач; диаметр присасывающих отверстий; величина разрежения; сбрасыватель «лишних» семян; частота двойных подокладов семян; качество работы аппарата.

Для цитирования: Несмиян А. Ю., Горбатюк А. П., Дубина К. П., Асатурян А. В., Должиков В. В. Оптимизация диаметра присасывающих отверстий вакуумного высевача // Аграрный научный журнал. 2022. № 1. С.84–87. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp84-87>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Optimization of the diameter of the suction holes of the vacuum seeding device**Andrey Yu. Nesmiyan, Anastasiya P. Gorbatyuk, Konstantin P. Dubina, Andrey V. Asaturyan, Valeriy V. Dolzhikov**

Azov-Black Sea Engineering Institute FSBEI VO Don GAU, Rostov region, Zernograd, Russia

e-mail: longonor@yandex.ru.

Abstract. The aim of the study was to analyze the regularities of the influence of the diameter of the suction holes and the vacuum depth in the vacuum chamber of the precision seeding apparatus on the probability of the formation of group seed feeds. The study was of an experimental nature and was conducted with a specialized stand in laboratory conditions. The results showed that an increase in the diameter of the suction holes (at a constant value of the suction force) led to an increase in the frequency of formation of group seed feeds. Moreover, when the values of this factor varied from 4 to 5 mm (when sowing maize), practically no changes in the seed supply were observed. At the same time, a decrease in the diameter of the holes of the seeding disc to values less than 4 mm led to a sharp decrease in the likelihood of the formation of double feeds, and at $d > 5$ mm, the frequency of group feeds increased rapidly. This can be explained by two possible reasons: the error of the experiment, which led to a distortion of the result, or the regularity associated with the fact that in this interval (4...5 mm) the change in the parameter d is compensated by the variability of the main sizes of the sown seeds. In the first case, the dependence of the formation of the frequency of group feeds on the diameter of the suction holes is linear; in the second, it is cubic. The analysis of the obtained dependences shows that with a diameter of the suction holes of 1,0...2,9 mm, it is possible to ensure the operation of the vacuum seeding apparatus with a sufficiently high quality (practically without the formation of zero and group seed feeds) by excluding the reflector from the apparatus design. However, in this case, it is necessary to verify the reliability of each of the obtained dependences, since in the first case the required vacuum in the vacuum chamber is about 113 kPa, and in the second “only” 13.5 kPa.

Keywords: row-crop seeder; vacuum seeding device; diameter of the suction holes; rarefaction value; “extra” seed dropper; frequency of double seed feed; the quality of the device

For citation: Nesmiyan A. Yu., Gorbatyuk A. P., Dubina K. P., Asaturyan A.V., Dolzhikov V. V. Optimization of the diameter of the suction holes of the vacuum seeding device. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(1):84–87. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i1pp84-87>.

Введение. В конструкции пропашных сеялок, применяемых для посева таких культур как подсолнечник, кукуруза, свекла, клевер, соя, арбузы, тыква и др., одним из наиболее сложных узлов является высевач, обеспечивающий поштучное или групповое дозирование семян и подачу их в сошниковое пространство с примерно равными интервалами [3, 4, 6]. В производстве применяются различные конструкции аппаратов точного посева (далее – АТВ), при этом исторически сложилось так, что в западном полушарии наибольшее распространение получили сеялки с механическими АТВ и АТВ избыточного давления, а в восточном (в том числе и в Российской Федерации) – с вакуумными высевачами аппаратами [6, 9, 10, 15, 16].

Дозирующим элементом вакуумных АТВ являются присасывающие отверстия, как правило, круглой формы, изготовленные по концентрической окружности в специальном носителе – высеваче диске. Диаметр присасыва-

ющих отверстий на 30...40 % меньше усредненного размера высеваемых семян, поэтому, под воздействием разрежения семена присасываются к этим отверстиям, не проваливаясь в них. После этого, за счет вращения высевающего диска они выносятся из семенной камеры (при пунктирном высеве поштучно), в точке сброса отделяются от диска и падают в подготовленную сошником борозду [6, 17].

Качество работы вакуумных АТВ в значительной степени зависит от соотношения «полезной» силы $P_{\text{пол}}$ (силы, способствующей выносу единичного семени из общего массива) и «вредной» силы $P_{\text{вр}}$ (сумма сил сопротивления выносу семени). При этом особо выделяют три их возможных соотношения [6]:

$$P_{\text{пол}} < P_{\text{вр}}, \quad (1)$$

$$P_{\text{пол}} \geq P_{\text{вр}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{пол}} \gg P_{\text{вр}}. \quad (3)$$

Если соблюдается условие (1), то семена не будут захватываться присасывающими отверстиями высевающего диска, и работа аппарата будет сопровождаться образованием значительного количества пропусков. При соблюдении условия (2) будет наблюдаться устойчивая работа аппарата (наиболее рациональный режим), а при соблюдении условия (3) будет образовываться большое количество групповых подач семян, что также снижает качество посева (при пунктирном посеве).

Сила $P_{\text{пол}}$, способствующая поштучному выносу семян из общего массива, пропорциональна площади присасывающего отверстия и значению разрежения, создаваемого в вакуумной камере пневмосистемой сеялки, соответственно [6]

$$P_{\text{пол}} = f(d, H), \quad (4)$$

где d – диаметр присасывающих отверстий, мм; H – глубина вакуума в вакуумной камере АТВ, кПа.

При выборе параметров и режимов работы АТВ исходят из предположения, что лучше «пересеять», чем «недосеять», поскольку если первое приведет только к непроизводительному перерасходу семян, то второе – к недобору, иногда существенному, потенциального урожая. В связи с этим диаметр присасывающих отверстий и глубину вакуума в пневмосистеме подбирают таким образом, чтобы исключить образование нулевых подач семян. Однако это, в свою очередь, приводит к образованию значительного количества двойных, тройных и других групповых подач. Для борьбы с ними в конструкцию практически всех вакуумных высевочных аппаратов интегрирован сбрасыватель «лишних» семян или отражатель (далее – отражатель) [1, 6, 11–13], ирония применения которого заключается в том, что его применение в свою очередь начинает провоцировать образование «нулевых» подач. Более того, регулировка положения отражателя трудоемка, осуществляется интуитивно и не всегда надежно, поэтому в хозяйствах ею зачастую пренебрегают, делая работу АТВ практически непредсказуемой.

В связи с этим целью исследования являлся анализ закономерностей влияния диаметра присасывающих отверстий и глубины вакуума в вакуумной камере аппарата точного посева на вероятность образования групповых подач семян.

Методика исследований. Исследование имело экспериментальный характер и проводилось на специализированном стенде для исследования качества работы АТВ [7]. В качестве высевочной культуры была принята кукуруза, в качестве исследуемого АТВ – классический вакуумный высевочный аппарат сеялки МС-8 (рис. 1) [8], которая в начале XXI в. была разработана в Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (ныне Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ) и с отдельными модернизациями до сих пор выпускается ОАО «Миллеровосельмаш».

Экспериментальное исследование заключалось в определении частоты нулевых (p_0) и групповых (p_r) подач семян вакуумным АТВ при постоянной величине силы присасывания, но при различных значениях диаметра изготовленных в диске присасывающих отверстий.

При высеве средних и крупных семян кукурузы на аппаратах сеялки МС-8 применяют высевочные диски, содержащие 20 присасывающих отверстий, диаметром 5 мм, рабочее разрежение при этом – 4...5 кПа (примем 4,5 кПа). При таком сочетании исследуемых факторов сила присасывания семени составит около 21 мН (если принять коэффициент просасывания равным 0,75). Соответственно сочетание диаметра отверстий и глубины вакуума в пневмосистеме подбиралось таким образом, чтобы обеспечить силу присасывания, близкую к расчетной.

При этом было проведено шесть отдельных экспериментов (при $d = 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5$ и $6,0$ мм), повторность каждого эксперимента – пятикратная, наблюдаемое количество подач семян диском в каждой повторности – 300 шт. При проведении экспериментов угловая скорость высевающего диска подбиралась из условия высева 4,0...4,2 семян на 1 м при планируемой скорости движения агрегата около 7...8 км/ч. Отражатель при этом был демонтирован.

Рис. 1. Аппарат точного посева сеялки МС-8

Результаты исследований. Условия проведения и результаты экспериментального исследования, а также показатели их статистической оценки [14] представлены в таблице, в которой приняты следующие обозначения: n_0 – количество «нулевых» подач семян кукурузы высевочным диском за 15 оборотов, ед.; n_r – количество групповых подач семян кукурузы, ед.; $n_{\text{ср}}$ – среднее значение рассматриваемого показателя, шт.; σ_n – среднеквадратическое отклонение показателя; O_a и O_o – соответственно абсолютная и относительная ошибки опыта.

Из массива данных, представленных в таблице, видно, что ни в одной из повторностей всех экспериментов не наблюдалось пропусков. Полученный результат в очередной раз подтверждает вывод о том, что применение отражателя семян, даже при оптимальных его настройках в лабораторных условиях, является существенной причиной образования «пропусков». При этом, поскольку нулевых подач семян в эксперименте не наблюдалось, можно утверждать, что качество работы АТВ может быть вполне достоверно оценено всего одним показателем – частотой образования групповых подач. В нашем случае $p_r = n_r/300$ (выражается в долях единицы).

Зависимость частоты образования групповых подач семян от диаметра присасывающих отверстий при постоянной величине силы присасывания представлена на рис. 2.

Из зависимости, представленной в графическом виде на рис. 2 видно, что увеличение диаметра присасывающих отверстий (при постоянном значении силы присасывания) вполне закономерно ведет к росту частоты образования групповых подач семян. При этом также видно, что при варьировании значений этого фактора от 4 до 5 мм изменений в подаче семян практически не наблюдалось ($p_r = 0,36...0,38$).

В то же время уменьшение диаметра отверстий высевающего диска до значений менее 4 мм приводит к резкому снижению вероятности образования двойных подач, а при $d > 5$ мм частота групповых подач интенсивно возрастает. Это явление может объясняться двумя возможными причинами:

погрешность опыта, приведшая к искажению результата. В этом случае логично предположить, что изменение частоты двойных подач происходит линейно и полученная зависимость может быть с вероятностью около 85 % аппроксимирована уравнением (5)

$$p_r = 0,106d - 0,103. \quad (5)$$

Стабильность работы АТВ при высеве кукурузы и диаметре присасывающих отверстий 4...5 мм закономерна и объясняется тем, что в этом интервале изменение параметра d компенсируется за счет вариативности основных размеров высеваемых семян [2]. Этот вариант представляется более достоверным, поскольку точность опытов при проведении экспериментов в диапазоне изменения диаметра присасывающих отверстий 4...5 мм достаточно высока (более 97 %). При таких предпосылках зависимость рисунка 2 с вероятностью около 98 % аппроксимируется уравнением (6)

$$p_r = 0,065d^3 - 0,902d^2 + 4,169d - 6,076. \quad (6)$$

Решение уравнений (5) и (6), показывает, что в первом случае значение p_r близкое к нулю получается при $d \approx 1$ мм, во втором – при $d \approx 2,9$ мм. Таким образом, можно сделать вывод, что при диаметре присасывающих отверстий 1...2,9 мм можно обеспечить работу АТВ с достаточно высоким качеством (практически без образования нулевых и групповых подач семян) исключив из конструкции аппарата отражатель. Однако при этом важно достоверно установить какая из зависимостей (5) или (6) более точно описывает наблюдаемую закономерность, поскольку в первом случае необходимое разрежение в вакуумной камере – около 113 кПа, а во втором «всего» 13,5 кПа.

Заключение. Целью исследования являлся анализ закономерностей влияния диаметра присасывающих отверстий и глубины вакуума в вакуумной камере аппарата точного посева на вероятность образования групповых подач семян. Исследование носило экспериментальный характер и проводилось на специализированном стенде в лабораторных условиях. В качестве высеваемой культуры была принята кукуруза. В экспериментах использовался классический вакуумный высевающий аппарат сеялки МС-8. Полученные результаты показали, что увеличение диаметра присасывающих отверстий (при постоянном значении силы присасывания) ведет к росту частоты образования групповых подач семян. Причем при варьировании значений этого фактора от 4 до 5 мм изменений в подаче семян практически не наблюдалось. В то же время, уменьшение диаметра отверстий высевающего диска до значений менее 4 мм приводит к резкому снижению вероятности образования двойных подач, а при $d > 5$ мм частота групповых подач интенсивно возрастает. Это может объясняться двумя возможными причинами: погрешность опыта, приведшая к искажению результата, или закономерность, связанная с тем, что в этом интервале (4...5 мм) изменение параметра d компенсируется за счет

Условия проведения исследования и полученные первичные результаты

Показатель	n_0	n_r	n_0	n_r	n_0	n_r	n_0	n_r	n_0	n_r	n_0	n_r
d , мм	3,5		4		4,5		5		5,5		6	
H , кПа	9,2		7		5,5		4,5		3,7		3,1	
$n_{сп}$, ед.	0	79,4	0	107	0	114	0	109	0	139	0	173
σ_n , ед.	0	7,5	0	4,4	0	6,9	0	3,5	0	7,1	0	8,3
O_a , ед.	0	3,4	0	2,0	0	3,1	0	1,6	0	3,2	0	3,7
O_o , %	0	4,2	0	1,8	0	2,7	0	1,5	0	2,3	0	2,2

Рис. 2. Зависимость частоты образования групповых подач семян от диаметра присасывающих отверстий (при $P_{пр} \approx 2,1$ сН $\approx const$)

вариативности основных размеров высеваемых семян. В первом случае зависимость образования частоты групповых подач от диаметра присасывающих отверстий носит линейный характер, во втором – кубический. Анализ полученных зависимостей показывает, что при диаметре присасывающих отверстий 1...2,9 мм можно обеспечить работу вакуумного высевающего аппарата с достаточно высоким качеством (практически без образования нулевых и групповых подач семян) исключив из конструкции аппарата отражатель. Однако при этом следует дополнительно проверить достоверность каждой из полученных зависимостей, поскольку в первом случае необходимое разрежение в вакуумной камере – около 113 кПа, а во втором «всего» 13,5 кПа.

Список литературы

1. Бескровный Е. В., Бондаренко П. А. Особенности формирования однозернового потока семян пневмовacuумным аппаратом // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. №1. С. 39–42.
2. Должикова Н. Н., Должиков В. В., Черемисин Ю. М. Изучение геометрических параметров семян кукурузы // Активная честолубивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. 2019. № 2 (7). С. 36–39.
3. Должикова Н. Н., Должиков В. В., Черемисин Ю. М., Лаврухин П. В. Качественный посев подсолнечника // Активная честолубивая интеллектуальная молодёжь сельскому хозяйству. 2020. №1(8). С. 42–44.
4. Зубрилина Е. М., Димитров В. П., Маркво И. А., Новиков В. И. Применение инструментов качества при проектировании дозирующих систем сеялок // Актуальные проблемы науки и техники: материалы нац. науч.-практ. конф., 2018. С. 137–138.
5. Несмиян А. Ю., Хижняк В. И., Шаповалов Д. Е. Определение угла укладки частиц сыпучих материалов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 7. С. 19–20.
6. Несмиян А. Ю., Хижняк В. И., Должиков В. В., Яковец А. В., Шаповалов Д. Е. Оптимизация вакуумных высевальных аппаратов пропашных сеялок. Зерноград, 2013. 186 с.
7. Пат. RU 2356210 C1 Стенд для испытания высевальных аппаратов сеялок точного посева / Лобачевский П. Я., Хижняк В. И., Несмиян А. Ю., Авраменко Ф. В. // Оpubл. 27.05.2009, Заявка № 2007143012/12 от 20.11.2007.
8. Сеялка пропашная блочно-составляемая МС-8 (базовая модель). Миллерово, 2011. 52 с.
9. Хижняк В. И., Мальцев П. С., Таранов В. А. Анализ конструкций пропашных сеялок // Вестник аграрной науки Дона. 2020. №4(52). С. 42–52.
10. Хижняк В. И., Кочергин А. С., Таранов В. А., Онищенко Е. А. Разработка дозирующего модуля сеялки пунктирного посева СПВ-870 // Вестник аграрной науки Дона. 2020. №2(50). С. 27–33.
11. Яковец А. В. Анализ дозирующих систем сеялок точного посева // Аграрная Россия. 2011. № 3. С. 60–63.
12. Яковец А. В. Обзор сбрасывателей лишнего зерна пневмовacuумных сеялок точного посева // Агро XXI. 2011. № 10–12. С. 44–46.
13. Яковец А. В., Несмиян А. Ю. Обоснование рациональных параметров плоского сбрасывателя лишнего зерна пневмовacuумного высевального аппарата // Вестник КрасГАУ. 2012. № 7. С. 114–120.
14. Encyclopedia of mathematics. URL: <http://www.encyclopediaofmath.org/index.php>. Дата обращения: 14.07.2021.
15. Khizhnyak V. I., Shchirov V. V., Nesmiyan A. Yu., Avramenko F. V. and Kochergin A. S. Evaluation of the efficiency of row-crop seeders using vacuum and extrabaric seed metering methods // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 659. 2021. С. 659012045.
16. Markvo I., Zubrilina E., Novikov V. Precise seeding planter concept with air pumped seedtube // В сборнике: E3S Web of Conferences, 2019. С. 00054.
17. Nesmiyan A., Kravchenko L., Khizhnyak V., Zubrilina E. Probabilistic modeling for dynamic processes // E3S Web of Conferences, 2020. С. 175 05019.

References

1. Beskrovny E. V., Bondarenko P. A. Features of the formation of a single-grain seed flow with a pneumatic vacuum apparatus. *Tractors and agricultural machines*. 2008; 1: 39–42. (In Russ.).
2. Dolzhikova N. N., Dolzhikov V. V., Cheremisin Yu. M. Study of geometric parameters of corn seeds. *Active ambitious intellectual youth in agriculture*. 2019; 2 (7): 36–39. (In Russ.).
3. Dolzhikova N. N., Dolzhikov V. V., Cheremisin Yu. M., Lavrukhin P. V. High-quality sowing of sunflower. *Active ambitious intellectual youth to agriculture*. 2020; 1 (8): 42–44. (In Russ.).
4. Zubrilina E. M., Dimitrov V. P., Markvo I. A., Novikov V. I. The use of quality tools in the design of metering systems for seeders. *Actual problems of science and technology: materials of the national scientific and practical conference*, 2018: 137–138. (In Russ.).
5. Nesmiyan A. Yu., Khizhnyak V. I., Shapovalov D. E. Determination of the angle of deposition of particles of bulk materials. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2010; 7: 19–20. (In Russ.).
6. Nesmiyan A. Yu., Khizhnyak V. I., Dolzhikov V. V., Yakovets A. V., Shapovalov D. E. Optimization of vacuum seeding devices for row-crop seeders. Zernograd, 2013. 186 p. (In Russ.).
7. Pat. RU 2356210 C1 Stand for testing seeding devices of precision seeders / Lobachevsky P. Ya., Khizhnyak V. I., Nesmiyan A. Yu., Avramenko F. V. // Publ. May 27, 2009, Application No. 2007143012/12 dated November 20, 2007. (In Russ.).
8. Blockrow-crop seeder MS-8 (basic model). Millerovo, 2011. 52 p. (In Russ.).
9. Khizhnyak V. I., Maltsev P. S., Taranov V. A. et al. Analysis of the designs of row-crop seeders. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2020; 4 (52): 42–52. (In Russ.).
10. Khizhnyak V. I., Kochergin A. S., Taranov V. A., Onishchenko E. A. Development of the dosing module of the SPV-870 dotted seeder. *Bulletin of Agrarian Science of the Don*. 2020; 2 (50): 27–33. (In Russ.).
11. Yakovets A. V. Precision Planter Dosing Systems Analysis. *Agrarian Russia*. 2011; 3: 60–63. (In Russ.).
12. Yakovets A. V. Review of surplus seeds dumpers of pneumatic vacuum precision seeders. *Agro XXI*. 2011; 10–12: 44–46. (In Russ.).
13. Yakovets A. V., Nesmiyan A. Yu. Substantiation of rational parameters of a flat dumping device for excess seeds of a pneumatic vacuum seeding apparatus. *Bulletin of KrasGAU*. 2012; 7: 114–120. (In Russ.).
14. Encyclopedia of mathematics. URL: <http://www.encyclopediaofmath.org/index.php>. Date of access: 07/14/2021.
15. Khizhnyak V. I., Shchirov V. V., Nesmiyan A. Yu., Avramenko F. V. and Kochergin A. S. Evaluation of the efficiency of row-crop seeders using vacuum and extrabaric seed metering methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 659:A. 659012045.
16. Markvo I., Zubrilina E., Novikov V. Precise seeding planter concept with air pumped seedtube. *E3S Web of Conferences*, 2019: A. 00054.
17. Nesmiyan A., Kravchenko L., Khizhnyak V., Zubrilina E. Probabilistic modeling for dynamic processes. *E3S Web of Conferences*, 2020: A. 175 05019.

Статья поступила в редакцию 28.10.2021; одобрена после рецензирования 12.11.2021; принята к публикации 20.11.2021.

The article was submitted 28.10.2021; approved after reviewing 12.11.2021; accepted for publication 20.11.2021.