Author credentials**Affiliations**

Kireev Ivan – Full Doctor of Technical Sciences, leading researcher of Novokubansk branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Rosinformagrotekh”, Russia, Novokubansk, e-mail: Kireev.I.M@mail.ru.

Koval' Zinaida – Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Rosinformagrotekh”, Russia, Novokubansk, e-mail: zinakoval@mail.ru.

Danilov Michael – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Stavropol State Agrarian University”, Russia, Stavropol, e-mail: danilomaster80@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 23.04.2021 Принята к публикации (Accepted): 16.06.2021

УДК 681.3:631.333.5

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-11-19

**ВЗАИМОСВЯЗЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
С КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ**

¹*Шварц Анатолий Адольфович*

¹*Шварц Сергей Анатольевич*

¹*Секретарев Александр Петрович*

¹*Ветров Иван Юрьевич*

¹*ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»*

Реферат. Проблему комплексной механизации внесения органо-минеральных удобрений можно решить путем совершенствования существующих средств механизации для повышения качества внесения удобрений, расширения их функций; разработки недостающих средств механизации; разработки средств контроля, надзора и управления функциями разбрасывателей удобрений. Решали задачу усовершенствования отдельных узлов роторного разбрасывателя центробежного типа. Теоретические исследования показали, что оптимальное количество лопастей в роторном рабочем органе – пять. Для улучшения эксплуатационных характеристик выбран кузовной низкорамный разбрасыватель, состоящий из кузова, ленточного транспортера и центробежного роторного рабочего органа на горизонтальной оси вращения. Устанавливали влияние формы лопаток роторного рабочего органа (с бортами, желобообразными и комбинированными) на величину воздушного потока при частоте вращения ротора, мин⁻¹: 850; 900; 950. Положение дефлектора относительно плоскости разбрасывания: 0° (параллельно земле); 22°; 45°. Скорость воздушного потока определяли с помощью портативного анемометра AMTAST AMF001. Анализ экспериментальных данных позволил оценить теоретические, полученных на предыдущих этапах исследования. Полученные результаты подтвердили теоретически выведенную зависимость скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа. Наивысший показатель скорости воздушного потока был достигнут при частоте вращения в 950 мин⁻¹ и использовании пяти комбинированных лопаток.

Ключевые слова: гранулированные удобрения, разбрасыватель с горизонтальной осью вращения, воздушный напор, траектория движения, проведение эксперимента.

**RELATIONSHIP OF AERODYNAMIC INDICATORS
WITH DESIGN AND OPERATING PARAMETERS
OF THE WORKING BODIES OF THE GRANULATED FERTILIZER SPREADER**

¹*Schwartz Anatoly*

¹*Schwartz Sergey*

¹*Secretary Alexander*

¹*Vetrov Ivan*

¹*FSBEI HE “Kursk State Agricultural Academy”*

Abstract. *The problem of complex mechanization of the application of organic-mineral fertilizers can be solved by improving the existing means of mechanization to improve the quality of fertilization, expand their functions; development of missing means of mechanization; development of means of control, supervision and management of the functions of fertilizer spreaders. The problem of improving individual units of the rotary centrifugal spreader was solved. Theoretical studies have shown that the optimal number of blades in a rotary working body is five. A body-based low loader spreader, consisting of a body, a belt conveyor and a centrifugal rotor on the horizontal axis of rotation, was selected to improve performance. Influence of the shape of the blades of the rotor working body (with sides, grooved and combined) on the value of the air flow at the rotor speed, min-1: 850; 900; 950 have been installed. The deflector position relative to the spreading plane was 0° (parallel to the ground); 22°; 45°. The air flow rate was determined using an AMTAST AMF001 portable anemometer. The analysis of the experimental data made it possible to evaluate the theoretical ones obtained at the previous stages of the study. The results obtained confirmed the theoretically derived dependence of the air flow rate on the rotor speed of the working body. The highest airflow rate was achieved at 950 rpm with five combination blades.*

Keywords: *granular fertilizers, spreader with horizontal axis of rotation, air pressure, trajectory of movement, experiment.*

Введение. По результатам данных, полученных путем проведения теоретических исследований технологического процесса поверхностного внесения органо-минеральных удобрений пневмомеханическим роторным кузовным разбрасывателем гранулированных удобрений, коллективом авторов обоснованы три различные формы рабочих лопаток, величина скорости напора воздушного потока, динамические параметры и режим работы разбрасывателя, повышающего показатели производительности и равномерности внесения минеральных удобрений [1, 4].

Следует отметить, что теоретических данных недостаточно для того, чтобы сделать окончательное заключение о том, что предлагаемое техническое и технологическое решение сможет достичь эксплуатационных характеристик работы, полученных методом математического расчета. Это связано с тем, что при моделировании процесса, с помощью теоретических данных и зависимостей, не удастся учесть все многообразие факторов, влияющих на процесс внесения удобрений. Для решения возникшей ситуации было решено провести экспериментальные исследования на опытной образце [2, 5, 8].

Основная задача экспериментальных исследований заключалась в проверке корректности полученных теоретических зависимостей и выводов, полученных из них. Кроме того, были поставлены следующие задачи лабораторных испытаний:

- определить оптимальную форму и геометрические размеры рабочих лопаток, и степень влияния конструктивно-кинематических параметров на угол схода массы гранулированных удобрений с рабочих органов;
- определить корректность полученных зависимостей между конструктивно-кинематическим режимом работы рабочего органа и величины воздушного потока, который возникает во время работы разбрасывателя;
- определить рациональные режимы работы разбрасывателя органо-минеральных гранулированных удобрений.

Материалы и методы. Для исследования процесса внесения гранулированных органо-минеральных удобрений, с учетом анализа характеристик имеющихся машин, рабочих органов и схем работы, на базе лаборатории Курской ГСХА была проведена работа по усовершенствованию опытного образца установки по внесению удобрений (рисунок 1).

Для улучшения эксплуатационных характеристик выбран кузовной низкорамный разбрасыватель, который был разработан Репетовым А.Н. и в последствии усовершенствован кандидатом технических наук Лепшеевым О.М. [1].

Теоретические исследования показали, что оптимальным количеством лопастей в роторном рабочем органе является пять. Это позволяет снизить нагрузку на рабочий орган, путем снижения объемной массы гранулированных удобрений. Вал с рабочим органом приводится в движение при помощи карданной передачи от вала отбора мощности трактора через редуктор.

Рисунок 1. – Устройство разбрасывателя гранулированных удобрений

Внесение удобрений происходит через выгрузное окно геометрические размеры, которого 250 x 250 мм. Гидромотор 2 приводящий в движение ленточный транспортер, который позволяет регулировать скорость движения ленты из кабины трактора, и, следовательно, регулировать скорость подачи к рабочему органу массы гранулированных удобрений.

Удобрение с транспортера попадает непосредственно к рабочему органу с помощью шнекового вала 8, приводимого в движение цепной передачей 4 от вала редуктора. [1, 4, 6].

Для эксперимента были выбраны два типа форм лопаток рабочего органа: плоские с бортами (рисунок 2) и желобообразные (рисунок 3).

Рисунок 2 – Схема плоской лопатки с бортами

Рисунок 3 – Схема желобообразной лопадки

Однако в ходе проведения эксперимента была предложена третья форма, сочетающая в себе лучшие характеристики первых двух образцов – это желобообразная лопадка с площадкой в основании (в дальнейшем – комбинированные) (рисунок 4).

Рисунок 4 – Схема комбинированной лопадки

Лопатки изготовлены из листовой стали, толщина которой 3 мм. Габаритные размеры лопаток - 200 x 200 мм и 150x200, это позволяет достичь наилучших показателей захвата и плотности потока внесенный на них удобрений. Монтаж лопаток происходит с помощью болтов к кронштейну ротора. А для желобообразных лопаток необходимо применение дополнительного усиления с целью надежного крепления их к кронштейну ротора. [5, 10].

Скорость вращения гидрометра, а следовательно, и ленточного транспортера была выбрана исходя из данных, полученных во время теоретических расчетов и составила 0,009...0,014 м/с. Такая скорость подачи позволяет обеспечить равномерность перемещения удобрений к рабочему органу при нормах внесения 0,1...2 т/га. [7, 9].

Работа разбрасывателя велась на разных режимах с тремя видами лопаток (с бортами, желобообразными и комбинированные) для роторного рабочего органа. Устанавливали влияние формы лопаток на величину воздушного потока.

Для проведения эксперимента были выбраны следующие конструктивные и кинематические параметры:

1. Частота вращения ротора, мин^{-1} : 850; 900; 950.
2. Положение дефлектора относительно плоскости разбрасывания: 0° (параллельно земле); 22° ; 45° .

Для фиксирования результатов скорости воздушного потока, с учетом специфики загрузки лопаток, измерения проводились без заполнения рабочих органов удобрениями, использовался портативный анемометр AMTAST AMF001. Измерения проводились в четырех точках относительно выгрузного окна: вплотную, на расстоянии 0,5; 1,0 и 2,0 м. Результаты замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Зависимость скорости воздушного потока от конструктивно-режимных параметров рабочих органов разбрасывателя удобрений

№ п/п	Частота вращения ротора, мин ⁻¹	Положение анемометра, м	Положение дефлектора, град	Измеренная скорость воздушного потока, создаваемого лопатками разной формы, м/с		
				с бортами	желобообразные	комбинированные
1	850	вплотную	0	5,3	3,5	6,1
2			22	5,1	3,4	6,3
3			45	4,8	3,4	6,3
4		0,5	0	7,7	5,0	8,2
5			22	7,6	5,1	8,4
6			45	7,1	4,7	8,1
7		1,0	0	7,9	6,1	9,6
8			22	7,8	6,3	9,7
9			45	7,6	6,1	9,1
10		2,0	0	4,6	2,1	4,6
11			22	4,4	1,9	4,5
12			45	4,4	2,0	4,4
13	900	вплотную	0	15,9	9,9	15,6
14			22	15,8	10,0	16,7
15			45	15,9	9,7	16,8
16		0,5	0	18,1	12,3	19,2
17			22	17,8	12,2	19,4
18			45	17,6	12,0	18,9
19		1,0	0	18,2	12,9	20,2
20			22	18,1	13,0	21,1
21			45	18,2	12,8	20,1
22		2,0	0	7,6	5,7	6,1
23			22	7,5	6,2	6,4
24			45	7,7	5,5	5,8
25	950	вплотную	0	22,4	14,4	24,9
26			22	22,8	14,5	24,8
27			45	21,7	14,1	25,1
28		0,5	0	24,2	17,6	26,8
29			22	25,1	17,8	26,3
30			45	24,7	17,4	26,1
31		1,0	0	28,1	18,1	34,1
32			22	28,4	17,8	34,5
33			45	27,9	17,7	33,7
34		2,0	0	9,0	8,4	9,8
35			22	9,1	8,1	10,2
36			45	8,0	7,9	10,0

Для анализа полученных результатов были построены графики зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора, удаленности анемометра от выгрузного окна и угла атаки дефлектора.

Рисунок 5 – График измерения скорости при 850 мин⁻¹ Рисунок 6 – График измерения скорости при 900 мин⁻¹

Значение средней составляющей ветрового давления определяется как

$$\omega_n = \omega_0 k c,$$

где ω_0 – ветровое давление на единицу поверхности (скоростной напор); $\omega_0 = \frac{\rho v_0^2}{2}$, где ρ – плотность воздуха, v_0 – скорость ветра, k – коэффициент, который учитывает изменение давления ветра по типу местному и высоте; c – коэффициент аэродинамического сопротивления.

Плотность воздуха зависит от давления и температуры. Для обычного диапазона температур и на уровне земли переменной плотности воздуха можно пренебречь. Тогда формула преобразуется к виду $\omega_0 = 0,613 v_0^2$, где скорость v_0 измеряется в м/с, а напор ω_0 в Па.

Если скорость ветра измеряется с помощью флюгера Г. Вильда, дающим ошибку до 4 - 6 м/с, то используется поправка

$$a = 0,75 + \frac{5}{v_0},$$

и формула приобретает вид

$$\omega_0 = 0,613(av_0)^2.$$

Рисунок 7 – График измерения скорости при 950 мин-1

В нашем же случае для измерений использовался малоинерционный анемометр, поэтому коэффициент α принимается равным 1.

Проанализировав полученные данные, можно говорить о подтверждении теоретически выведенной зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа. Наивысший показатель скорости воздушного потока был достигнут при частоте вращения в 950 мин^{-1} и использовании комбинированных лопаток. Это объясняется тем, что данная форма лопатки совмещает в себе лучшие качества двух других вариантов, а именно от желобообразной лопатки мы получили высокий показатель плотности потока вносимого материала, а от лопатки с бортами – высокий показатель пневматической составляющей внесения за счет увлечения площади рабочей лопатки.

Выводы. Проанализировав полученные данные, можно говорить о подтверждении теоретически выведенной зависимости скорости воздушного потока от частоты вращения ротора рабочего органа.

Список литературы

1. Репетов А.Н., Лепшеев О.М. Машины для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – №8. – С. 10- 11.
2. Влияние воздушного напора лопастного рабочего органа на траекторию движения частиц гранулированного удобрения / Шварц А.А., Шварц С.А., Секретарев А.П., Ветров И.Ю. // Наука в центральной России. – 2020. – №4. – С. 53-62.
3. Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. Конструктивные особенности и результаты работы разбрасывателя органо-минеральных удобрений // Вестник Курской ГСХА. – 2015. – №7. – С. 186-188.
4. Адлер Ю. П., Маркова Е. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 276 с.
5. Митков А. Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.

6. Шварц А.А., Беседин Б.П., Колесников Е.Ю. Обоснование конструктивно-режимных параметров рабочего органа низкорамного разбрасывателя удобрений // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета – 2015. – № 3. – С. 203-208.

7. Патент на полезную модель № 166958 U1 Российская Федерация. Двухбарабанный разбрасыватель минеральных удобрений: № 2016105365/13: заявл. 17.02.2016: опубл. 20.12.2016 / Колесников Е.Ю., Беседин Б.П., Шварц А.А.

8. Патент на полезную модель № 165224 U1 Российская Федерация. Рабочий орган разбрасывателя твердых минеральных и органоминеральных удобрений: № 2016100776/13: заявл. 12.10.2016: опубл. 10.10.2016 / Беседин Б.П., Колесников Е.Ю., Шварц А.А.

9. Шварц А.А., Беседин Б.П. Аналитическое исследование движения удобрений по дефлектору разбрасывателя сыпучих минеральных и органоминеральных удобрений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии – 2016. – №7. – С. 66-69.

10. Шварц А.А., Беседин Б.П. Стабилизация пространственного положения кузовного низкорамного разбрасывателя удобрений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии – 2016. – № 7. – С 73-76.

References

1. Repetov A.N., Lepsheev O.M. Mashiny dlya vneseniya mineral'nyh udobrenij // Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny. – 1997. – №8. – S. 10- 11.

2. Vliyanie vozdušnogo napora lopastnogo rabocheho organa na traektoriyu dvizheniya chastic granulirovannogo udobreniya / SHvarc A.A., SHvarc S.A., Sekretarev A.P., Vetrov I.YU. // Nauka v central'noj Rossii. – 2020. – №4. – S. 53-62.

3. SHvarc A.A., Besedin B.P., Kolesnikov E.YU. Konstruktivnye osobennosti i rezul'taty raboty razbrasyvatel'ya organo-mineral'nyh udobrenij // Vestnik Kurskoj GSKHA. – 2015. – №7. – S. 186-188.

4. Adler YU. P., Markova E. V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. – M.: Nauka, 1976. – 276 s.

5. Mitkov A. L. Statisticheskie metody v sel'hozmashinostroenii. – M.: Mashinostroenie, 1978. – 360 s.

6. SHvarc A.A., Besedin B.P., Kolesnikov E.YU. Obosnovanie konstruktivno-rezhimnyh parametrov rabocheho organa nizkoramnogo razbrasyvatel'ya udobrenij // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – 2015. – № 3. – S. 203-208.

7. Patent na poleznuyu model' № 166958 U1 Rossijskaya Federaciya. Dvuhbarabannyj razbrasyvatel' mineral'nyh udobrenij: № 2016105365/13: yayavl. 17.02.2016: opubl. 20.12.2016 / Kolesnikov E.YU., Besedin B.P., SHvarc A.A.

8. Patent na poleznuyu model' № 165224 U1 Rossijskaya Federaciya. Rabochij organ razbrasyvatel'ya tverdyh mineral'nyh i organo-mineral'nyh udobrenij: № 2016100776/13: yayavl. 12.10.2016: opubl. 10.10.2016 / Besedin B.P., Kolesnikov E.YU., SHvarc A.A.

9. SHvarc A.A., Besedin B.P. Analiticheskoe issledovanie dvizheniya udobrenij po deflektoru razbrasyvatel'ya syuchih mineral'nyh i organo-mineral'nyh udobrenij // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii – 2016. – №7. – S. 66-69.

10. SHvarc A.A., Besedin B.P. Stabilizaciya prostranstvennogo polozheniya kuzovnogo nizkoramnogo razbrasyvatel'ya udobrenij // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii – 2016. – № 7. – S 73-76.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Шварц Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», Россия, г. Курск, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Секретарев Александр Петрович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Ветров Иван Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г. Курск, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Author credentials**Affiliations**

Shvartz Anatoly – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: aashwarz@mail.ru.

Shvartz Sergey – Candidate of Technical Sciences, Director of LLC “Meridian”, Russia Kursk, e-mail: shwarz@inbox.ru.

Sekretarev Alexander – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: a_sekretarev@inbox.ru.

Vetrov Ivan – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kursk State Agricultural Academy”, Russia, Kursk, e-mail: Iva-vetrov2008@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 12.05.2021

УДК 631.331.53

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-3-19-30

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЯЛОК И ПОКАЗАТЕЛИ ИХ РАБОТЫ

¹Шварц Анатолий Адольфович

¹Шварц Сергей Анатольевич

¹Полушин Иван Павлович

¹Филатов Николай Евгеньевич

¹Кузнецов Николай Сергеевич

¹ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова»

Реферат. Проведен краткий анализ истории развития высевальных аппаратов. Рассмотрены конструктивные особенности систем посева сеялок, состоящих из высевального аппарата и системы доставки семян к сошнику. Отмечены факторы, влияющие на качественные показатели работы высевального аппарата. Рассмотрены виды конструкций катушек высевального аппарата, которые зависят от параметров высеваемой культуры, в том числе и сложные, состоящие из нескольких элементов. Проанализированы результаты исследований Поволжской МИС шести сеялок с различными конструкциями систем посева. Установлена взаимосвязь между параметрами машины и качественными показателями ее работы. Показано, что чем больше ширина захвата сеялки, тем выше процент дробления семян, отклонения нормы посева от заданной и неравномерности посева между сошниками. Установлено, что конструкция системы доставки семян оказывает существенное влияние на показатели работы машины. При использовании механической системы доставки (на сеялках СЗТ-4, СЗМ-800, D9 6000ТС) превышение нормативов не наблюдается, а на сеялках с пневматической системой доставки (DMC 4500, СЗП-800, Condor-15000) замечены отклонения. У AMAZONE Condor-15000 с шириной захвата 15 м наблюдается дробление семян на уровне 14 % (при нормативе 0,3 %). Пневматическая система доставки семян имеет относительно сложную конструкцию: множество соединений и конструктивные элементы, приводящие к изменениям скорости движения и направления семенного потока. Это сопровождается повреждением семян и неравномерностью их распределения по сошникам. Более бережное отношение к посевному материалу обеспечивает использование механической системы доставки, по которой семена движутся под действием собственной силы тяжести и по наиболее короткому пути к сошнику, тем самым сводя взаимодействие с элементами системы доставки к минимуму. Но металлоемкость таких систем не позволяет использовать их на машинах с большой шириной захвата, что приведет к значительному увеличению их массы.

Ключевые слова: высевальный аппарат, катушка, система доставки семян, посевной блок.