

УДК 631.3:631.84

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ РАССЕВА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Следченко Мария Сергеевна

Соискатель

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: sled-ko13@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Козлов Вячеслав Геннадиевич

д-р. техн. наук, профессор

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Козлова Елена Владимировна

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 9356-2523

РИНЦ Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Распопов Александр Сергеевич

Аспирант

SPIN-код автора 7781-7560

РИНЦ Author ID = 1180504

e-mail: raspopov.css@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

В статье представлены результаты исследования и модернизации рабочего органа центробежного разбрасывателя сыпучих материалов. Выявлены ключевые недостатки существующих конструкций, такие как недостаточная ширина рассева и неравномерность распределения материала из-за фракционной сегрегации. Предложено новое конструктивное решение, заключающееся в оснащении комбинированных лопаток регулируемыми подпружиненными закрылками. Описан принцип действия модернизированного узла, проанализированы физические процессы, влияющие на траекторию частиц. Теоретически обоснован достичимый технический результат: увеличение ширины захвата на 15-25% и

UDC 631.3:631.84

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

## IMPROVEMENT OF THE WORKING BODY FOR SCREENING BULK MATERIALS

Sledchenko Maria Sergeevna

The applicant

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: sled-ko13@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Kozlov Vyacheslav Gennadievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Kozlova Elena Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The author's SPIN code 9356-2523

RSCI Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Raspopov, Alexander Sergeevich

Graduate student

The author's SPIN code is 7781-7560

RSCI Author ID = 1180504

e-mail: raspopov.css@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

The article presents the results of research and modernization of the working body of a centrifugal spreader of bulk materials. The key drawbacks of the existing structures have been identified, such as insufficient screening width and uneven material distribution due to fractional segregation. A new design solution is proposed, which consists in equipping the combined blades with adjustable spring-loaded flaps. The principle of operation of the upgraded node is described, and the physical processes affecting the trajectory of particles are analyzed. The achievable technical result is theoretically justified: an increase in the width of the gripper by 15-25% and an increase in the coefficient of uniformity of distribution to 85-90% due to active control of the angle of descent

повышение коэффициента равномерности распределения до 85-90% за счет активного управления углом схода материала и использования аэродинамического ускорения.

Ключевые слова: ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РАЗБРАСЫВАТЕЛЬ, СЫПУЧИЕ МАТЕРИАЛЫ, МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, РАБОЧИЙ ОРГАН, РАВНОМЕРНОСТЬ РАССЕВА, ШИРИНА ЗАХВАТА

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-213-010>

of the material and the use of aerodynamic acceleration.

Keywords: CENTRIFUGAL SPREADER, BULK MATERIALS, MINERAL FERTILIZERS, WORKING BODY, UNIFORMITY OF SEEDING, GRIPPING WIDTH

Равномерность и ширина рассева сыпучих материалов, таких как минеральные удобрения, являются ключевыми агротехническими требованиями, непосредственно влияющими на эффективность сельскохозяйственных работ, рентабельность производства и конечную урожайность культур. Неравномерное распределение приводит к образованию зон с недостатком или переизбытком питательных веществ, что вызывает угнетение одних растений и чрезмерное развитие других, а также к прямым экономическим потерям от перерасхода дорогостоящих удобрений, достигающим 15-20% [1, 2].

Центробежные разбрасыватели, будучи наиболее распространенным типом машин для этих целей благодаря своей производительности и относительной конструктивной простоте, часто сталкиваются с проблемой нестабильности рассеивающего паттерна. Традиционные конструкции не позволяют эффективно компенсировать естественную сегрегацию частиц по массе и размеру, что приводит к их группировке на разных дистанциях от разбрасывателя [3].

Для достижения целей государственной программы по развитию агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности критически важны не только улучшение качества почв, но и широкое внедрение новых научных достижений и инженерных решений. Это создает основу для перехода к "точному земледелию", которое предполагает наиболее целесообразное применение современных

<http://ej.kubagro.ru/2025/09/pdf/10.pdf>

высокотехнологичных технических средств, включая системы машинного зрения и искусственного интеллекта для дозированного внесения материалов [4]. Однако, эффективность этих систем упирается в исполнительные механизмы, способные точно реализовывать управляющие команды. Таким образом, совершенствование рабочих органов разбрасывателей является фундаментальной задачей, без решения которой потенциал "умных" систем остается нераскрытым.

Использование актуальных современных химических составов и агротехники имеет главенствующую значимость в улучшении плодородия почв. Однако их эффективность напрямую зависит от точности и равномерности внесения. В этой связи, основная цель исследования заключается в повышении однородности распределения минеральных удобрений по полю и увеличении ширины захвата путем модернизации разбрасывающего механизма.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих конструкций рабочих органов центробежных разбрасывателей и выявить их ключевые недостатки.
2. Разработать конструкцию модернизированного рабочего органа с активным элементом управления траекторией вылета частиц.
3. Теоретически обосновать физические процессы, протекающие в новом рабочем органе, и их влияние на кинематику частиц.
4. Определить ожидаемые оптимальные параметры работы и количественные показатели улучшения.

За основу для анализа взят известный рабочий орган (пат. RU № 206996) [4], который включает центробежный диск с отражателем, комбинированные лопатки и воздухозаборник для подачи дополнительного воздушного потока.

Анализ патентной и научно-технической литературы показывает, что, несмотря на наличие системы аэрации материала, данная конструкция

обладает рядом не устранимых недостатков. Главный из них – пассивный характер процесса рассева на завершающей стадии. Конструкция не позволяет в реальном времени управлять траекторией и скоростью частиц на выходе из лопаток. Это ограничивает как ширину рассева, так и, что более важно, равномерность распределения материала по обрабатываемой полосе. Частицы с разной массой, размером и аэродинамическими свойствами, проходя по лопатке, получают различное ускорение. Легкие и мелкие фракции в большей степени подвержены влиянию воздушного потока и трения, в то время как тяжелые частицы в основном движутся по инерции. В результате возникает фракционная сегрегация – тяжелые частицы летят дальше, а легкие осаждаются ближе к разбрасывателю, формируя характерную "двугорбую" кривую распределения [6].

Динамика сыпучего материала в центробежном поле описывается сложной системой уравнений, учитывающих центробежную силу, силу Кориолиса, силы трения о стенки и аэродинамическое сопротивление. Скорость вылета частицы  $v$  можно упрощенно представить как векторную сумму окружной скорости  $i$  и относительной скорости  $w$ . В существующих конструкциях угол вылета  $\alpha$  является фиксированным и определяется геометрией лопатки. Новое решение позволяет динамически изменять этот угол, влияя на соотношение составляющих конечной скорости  $i$ , следовательно, на дальность полета  $L$ , которая вычисляется по формуле для тела, брошенного под углом к горизонту:  $L = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения.

Для преодоления указанных недостатков предлагается модифицированная конструкция рабочего органа (рис. 1, 2, 3).

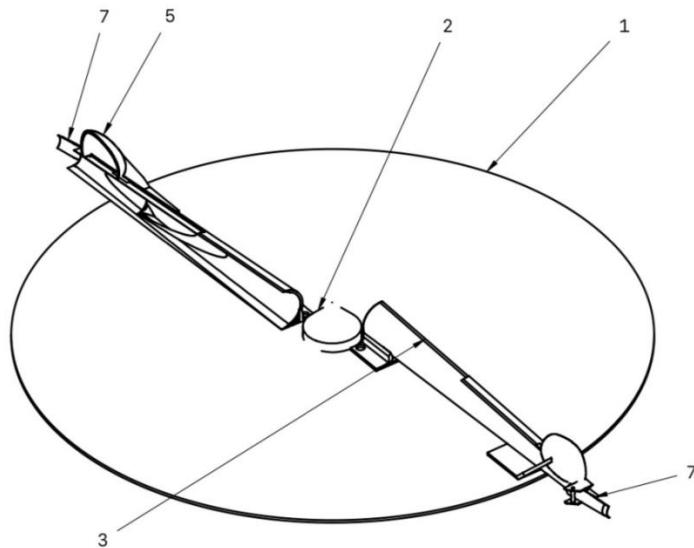


Рисунок 1. Общий вид рабочего органа

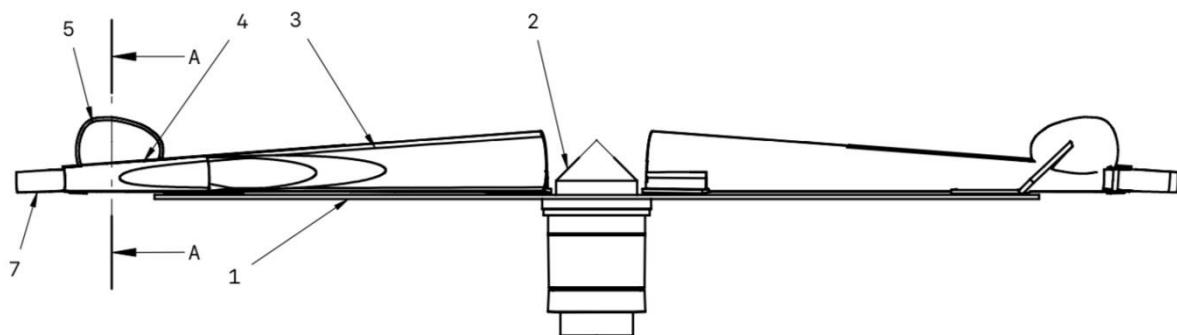


Рисунок 2. Вид сбоку

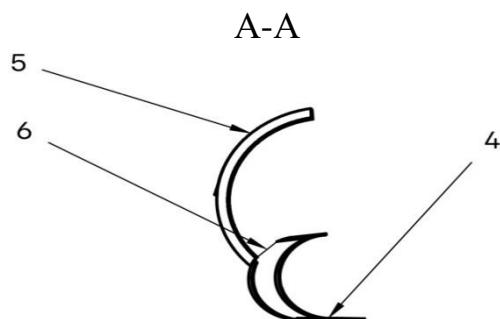


Рисунок 3. Сечение А-А

Рабочий орган для рассева сыпучих материалов включает центробежный диск 1 с отражателем 2 в центре и радиальные

суживающиеся комбинированные лопатки. Каждая лопатка состоит из соединенных торцами полуцилиндра 3 и вогнутого цилиндра 4, на боковой поверхности которого установлена лопасть 5 с воздухозаборным окном 6, изогнутыми в сторону вращения диска 1 для подачи дополнительного воздушного потока.

Ключевым нововведением является оснащение наружных концов вогнутых цилиндров 4 регулируемыми подпружиненными закрылками 7. Конструкция закрылка позволяет изменять его установочный угол путем регулировки предварительного натяга пружины. Это обеспечивает дозированное противодействие центробежной силе, стремящейся откинуть закрылок, и позволяет точно калибровать угол схода материала для различных типов удобрений и режимов работы.

Анализ работы рабочий органа для рассева сыпучих материалов позволяет выявить основные преимущества его работы, а именно: при подаче сыпучего материала на отражатель 2 вращающегося диска 1, частицы за счет сил трения о поверхность отражателя приобретают высокую окружную скорость и под воздействием центробежных сил слетают с его кромки. Далее они попадают в суживающийся полуцилиндр 3 лопатки. Сужающаяся форма канала обеспечивает первоначальное уплотнение потока и выравнивание скорости частиц, формируя ровный слой. В канале вогнутого цилиндра 4 на частицы воздействует дополнительный воздушный поток, нагнетаемый лопастями 5 через воздухозаборные окна 6. Этот поток, изогнутый в сторону вращения, выполняет две критически важные функции: воздушная подушка уменьшает коэффициент трения между частицами и стенками цилиндра, снижая энергопотери и износ конструкции; частицы вовлекаются в поток и получают дополнительное ускорение по принципу пневмотранспорта. Это позволяет увеличить конечную скорость вылета без повышения частоты вращения диска, что энергетически более выгодно; сыпучий материал с

дополнительным ускорением поступает на регулируемые подпружиненные закрылки 7. Это – активный элемент управления. Изменяя усилие пружины, оператор может динамически менять угол схода α сыпучих материалов. Это позволяет: компенсировать сегрегацию, направляя более тяжелые и легкие частицы в одну зону, увеличивать ширину захвата путем оптимизации угла вылета для достижения максимальной дальности полета частиц, а также адаптироваться к условиям, т.е. регулировать разброс под разные нормы высея, типы удобрений (гранулированные, порошковые) и внешние условия (влажность, ветер).

Для подтверждения эффективности предложенной конструкции разработан план эксперимента. Исследования предлагается проводить на лабораторном стенде, оснащенном частотным преобразователем для регулировки скорости вращения диска, набором сменных пружин для закрылков и системой сбора материала в виде лотков, размещенных с определенным шагом по ширине рассева. В качестве контролируемых параметров будут выступать: частота вращения диска, тип и норма расхода материала, жесткость пружины закрылка.

На основе теоретического анализа ожидается, что модернизированный рабочий орган позволит достичь следующих показателей по сравнению с прототипом:

- увеличение коэффициента равномерности распределения (коэффициент вариации) с 70-75% до 85-90%.
- увеличение ширины захвата при той же частоте вращения на 15-25%.
- снижение вариативности распределения при изменении физико-механических свойств материала (гранулометрический состав, влажность) не менее чем на 30%.

Важным преимуществом является энергетическая эффективность. Дополнительное ускорение частиц достигается преимущественно за счет

кинетической энергии воздушного потока, создаваемого самими лопатками, без потребления дополнительной мощности от привода. Это способствует увеличению производительности машин, экономии топлива до 5-7% на операциях внесения и снижению эксплуатационных затрат.

### **Заключение**

Предложенное решение – оснащение лопаток центробежного диска регулируемыми подпружиненными закрылками – не является очевидным из уровня техники. Оно представляет собой новое конструктивное решение, вводящее активный контур управления в традиционно пассивный процесс центробежного рассева, что позволяет целенаправленно влиять на траекторию частиц на завершающей стадии.

Подтверждена промышленная применимость. Конструкция технологична и может быть интегрирована в существующие модели разбрасывателей минеральных удобрений и сеялок без их кардинальной переделки.

Теоретически обоснован технический результат. За счет управления углом схода материала с помощью закрылок и использования аэродинамического ускорения обеспечивается значительное увеличение ширины захвата и повышение равномерности распределения сыпучего материала по обрабатываемой поверхности.

Конструкция позволяет добиться повышения производительности и качества работы без увеличения энергопотребления, что соответствует современным трендам ресурсосберегающего земледелия.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает, что модернизированный рабочий орган обладает существенными преимуществами по сравнению с известными аналогами и позволяет решить актуальную задачу повышения качества, эффективности и точности процесса рассева сыпучих материалов в сельском хозяйстве. Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную

проверку теоретических выкладок и оптимизацию геометрических и жесткостных параметров конструкции.

### Литература

1. Гениев, Г. А. Плоская деформация анизотропной сыпучей среды / Г. А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 5. – С. 33-35.
2. Костригин, А. А. Повышение эффективности внесения минеральных удобрений на склонах машинами путем совершенствования центробежного рабочего органа : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Костригин Александр Александрович. – Саранск, 2016. – 22 с.
3. Курсовое проектирование по сельскохозяйственным машинам : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Агроинженерия": Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию / В. В. Василенко, А. М. Гиевский, К. Р. Казаров, В. Н. Солнцев. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2013. – 208 с.
4. Патент на полезную модель № 206996 У1 Российская Федерация, МПК A01C 17/00. Рабочий орган для рассева сыпучих материалов : № 2021107456 : заявл. 22.03.2021 : опубл. 06.10.2021 / В. Г. Козлов, А. П. Дьячков, Е. В. Козлова, Н. Н. Белогорцев ; заявитель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.
5. Современные технологии точного земледелия в хозяйствах региона / А. В. Рековец, А. В. Вернигор, В. А. Драбов, И. Н. Скобеев // Цифровые технологии - основа современного развития АПК : сборник материалов международной научной конференции, Смоленск, 10 ноября 2020 года. Том 1. – Смоленск: Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 354-360.
6. Smith J., O. "Particle Segregation in Spinning Disc Fertilizer Spreaders" // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2020. – Vol. 75. – P. 345-352.

### References

1. Geniev, G. A. Ploskaya deformaciya anizotropnoj sypuchej sredy / G. A. Geniev // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. – 1986. – № 5. – S. 33-35.
2. Kostargin, A. A. Povyshenie ehffektivnosti vneseniya mineral'nykh udobrenij na sklonakh mashinami putem sovershenstvovaniya centrobezhnogo rabochego organa : special'nost' 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo khozyajstva" : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Kostargin Aleksandr Aleksandrovich. – Saransk, 2016. – 22 s.
3. Kursovoe proektirovaniye po sel'skokhozyajstvennym mashinam : uchebnoe posobie dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu "Agroinzheneriya": Rekomendovano Uchebno-metodicheskim ob"edineniem vuzov Rossijskoj Federacii po agroinzhenernomu obrazovaniyu / V. V. Vasilenko, A. M. Gievskij, K. R. Kazarov, V. N. Solncev. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2013. – 208 s.
4. Patent na poleznuyu model' № 206996 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01C 17/00. Rabochij organ dlya rasseva sypuchikh materialov : № 2021107456 : zayavl.

22.03.2021 : opubl. 06.10.2021 / V. G. Kozlov, A. P. D'yachkov, E. V. Kozlova, N. N. Belogorcev ; zayavitel' FGBOU VO Voronezhskij GAU.

5. Sovremennye tekhnologii tochnogo zemledeliya v khozyajstvakh regiona / A. V. Rekovec, A. V. Vernigor, V. A. Drabov, I. N. Skobeev // Cifrovye tekhnologii - osnova sovremennoego razvitiya APK : sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Smolensk, 10 noyabrya 2020 goda. Tom 1. – Smolensk: Smolenskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 354-360.

6. Smith J., O. "Particle Segregation in Spinning Disc Fertilizer Spreaders" // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2020. – Vol. 75. – P. 345-352.