

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.333:631.171

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-60-66>

Разработка агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукосмесей в ресурсосберегающих геоинформационных агротехнологиях точного земледелия

*С.Д. Ридный¹, Е.В. Кулаев², Д.И. Грицай³, Н.А. Баганов⁴,
А.А. Димитров⁵, М.А. Мастепаненко⁶, А.Г. Арженовский⁷*

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Ставропольский государственный аграрный университет; г. Ставрополь, Россия

⁷ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ ridnyy@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5187-029X>

² bratinsa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4152-6239>

³ gritcay_kirill@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3277-9461>

⁴ baganov75@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8094-2975>

⁵ diagryp12@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-8321-4180>

⁶ mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8684-118X>

⁷ argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>

Аннотация. Ресурсосберегающие геоинформационные агротехнологии позволяют достигнуть устойчивого производства сельскохозяйственной продукции с минимальными затратами. Дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений (ТМУ) позволяет значительно экономить их расход. Смешивание однокомпонентных удобрений с получением тукосмесей непосредственно в поле предотвращает сегрегацию удобрений. Наибольшей степенью равномерности распределения удобрений отличаются машины штангового типа с пневмотранспортной системой. Цель исследований – разработка агрегата для одновременного смешивания однокомпонентных удобрений и точечного дифференцированного внесения полученных тукосмесей в зависимости от потребности почвы в питательных элементах. Исследования провели в учебно-опытном хозяйстве Ставропольского ГАУ. Методикой исследований предусматривалось создание электронной карты поля, на которой проложены треки движения мобильного комплекса с точками отбора проб почвы. Для отбора проб почвы с глубины 30 см использовали мобильный комплекс Mitsubichi L-200 с установленным на нем пробоотборником Nietfeld Duorprob 60. Результаты лабораторного агрохимического исследования проб почвы прикрепляли к треку движения мобильного комплекса и вносили в электронную программу, с помощью которой создавалась картограмма содержания и распределения питательных элементов на поле. Дифференцированное внесение удобрений осуществляли на основе картограммы. В разработанной конструкции агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой установлен бункер, разделенный на три отсека, под каждым из которых размещено дозирующее устройство (для каждого типа минеральных удобрений). После смешивания удобрений полученная тукосмесь распределяется по элементарному участку согласно заданию. Предложенная конструкция агрегата устраняет сегрегацию минеральных удобрений, обеспечивает точное соответствие вносимого соотношения N:P:K реальной потребности каждого участка поля, равномерно распределяет тукосмесь.

Ключевые слова: геоинформационные агротехнологии; картограмма; тукосмеси; дифференцированное внесение удобрений; дозирующее устройство; агрегат штангового типа с пневмотранспортной системой

Финансирование. Статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2025-591) в рамках реализации мероприятий программы развития научного центра мирового уровня «Агроинженерия будущего» Ставропольского ГАУ, утвержденной протоколом заседания президиума Комиссии по научно-технологическому развитию Российской Федерации от 29 мая 2025 г. № 3.

Для цитирования: Ридный С.Д., Кулаев Е.В., Грицай Д.И., Баганов Н.А., Димитров А.А., Мастепаненко М.А., Арженовский А.Г. Разработка агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукосмесей в ресурсосберегающих геоинформационных агротехнологиях точного земледелия // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 6. С. 60-66. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-60-66>

ORIGINAL ARTICLE

Design of a pneumatic boom unit for variable-rate fertilizer application in resource-saving geoinformation agrotechnologies of precision farming

S.D. Ridny¹✉, E.V. Kulaev², D.I. Gritsai³, N.A. Baganov⁴,
A.A. Dimitrov⁵, M.A. Mastepanenko⁶, A.G. Arzhenovskiy⁷

^{1,2,3,4,5,6} Stavropol State Agrarian University; Stavropol, Russia

⁷ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

¹ ridny@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5187-029X>

² bratinsa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4152-6239>

³ gritcay_kirill@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3277-9461>

⁴ baganov75@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8094-2975>

⁵ diagryp12@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-8321-4180>

⁶ mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8684-118X>

⁷ argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>

Abstract. Precision farming, leveraging geoinformation technologies, enables sustainable and cost-effective agricultural production. Variable-rate application (VRA) of solid mineral fertilizers (SMF) is key to reducing consumption, while the on-field mixing of single-component fertilizers prevents segregation and ensures optimal nutrient mixes. Boom-type units with pneumatic transport systems further enhance fertilizer distribution uniformity. This research aimed to develop a novel boom-type implement for the simultaneous on-field mixing of single-component fertilizers and their targeted, variable-rate application based on real-time soil nutrient requirements. The study was conducted at the educational and experimental farm of Stavropol State Agrarian University. The methodology involved creating a digital field map, defining mobile complex paths and soil sampling points. A Mitsubishi L-200 complex with a Nietfeld Duoprob 60 sampler collected soil samples at 30 cm depth. Agrochemical analysis results were linked to these paths and processed by software to generate a nutrient content cartogram, which then served as the basis for VRA. The developed boom-type implement design features a pneumatic transport system and a three-compartment hopper, each with a dedicated dosing device for individual mineral fertilizers. After mixing, the customized fertilizer mix is distributed across the field according to the application map. This proposed design effectively eliminates mineral fertilizer segregation, ensures precise N:P:K ratios tailored to specific field zones, and guarantees uniform distribution of the fertilizer mix.

Keywords: geoinformation-based agricultural technologies; fertilizer mixtures; variable-rate fertilizer application; pneumatic conveying system; dosing device; boom-type units with a pneumatic transport system

Funding: This article was written with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2025-591) as part of the program for the development of the world-class scientific center “Agroengineering of the Future” at Stavropol State Agrarian University, approved by the Presidium of the Commission for Scientific and Technological Development of the Russian Federation dated May 29, 2025, Minutes No. 3.

For citation: Ridny S.D., Kulaev E.V., Gritsai D.I., Baganov N.A., Mastepanenko M.A., Arzhenovskiy A.G. Design of a pneumatic boom unit for variable-rate fertilizer application in resource-saving geoinformation agrotechnologies of precision farming. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(6):60-66 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-60-66>

Введение

Для достижения устойчивого производства сельскохозяйственной продукции с минимальными затратами в последние годы все активнее внедряются ресурсосберегающие геоинформационные агротехнологии (технологии «точного земледелия» с использованием спутниковых навигационных систем) [1]. Ресурсосберегающие геоинформационные агротехнологии точного земледелия предполагают использование новейших технологий и технических средств – таких, как дистанционное

зондирование земли (ДЗЗ), системы контроля и автоматизации, управления питанием растений, контроля за состоянием почвы, сенсорных устройств, искусственного интеллекта и другие направления. За рубежом повсеместно внедряются геоинформационные агротехнологии точного земледелия, однако в России такие технологии пока не получили широкого развития.

Геоинформационные технологии подразумевают после электронного картирования местности обследование сельскохозяйственных угодий

с использованием мобильного пробоотборника с последующими лабораторными исследованиями образцов почвы на содержание макро- и микроэлементов, pH, органического вещества и проведение непосредственно в поле агрохимического анализа почв с использованием различных датчиков, сенсоров и другого оборудования [2]. По результатам агрохимического обследования почвы разрабатываются карты-задания для последующего дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений (ТМУ) [3]. Дифференцированное внесение ТМУ позволяет значительно экономить их расход, снижая затраты на производство продукции и улучшая экологическое состояние окружающей среды. Однако дозы применяемых комплексных сложных минеральных удобрений не всегда могут удовлетворить необходимыми питательными элементами (N:P:K) все участки поля [4]. Для обеспечения потребности участков поля в каждом питательном элементе необходимо производить поэлементное дифференцированное внесение минеральных удобрений, что усложняет операцию и приводит к увеличению затрат. Одним из решений данной проблемы является внесение тукосмеси, дозирование каждого элемента которой производится непосредственно в поле в зависимости от потребности в них каждого участка поля. Однако в нашей стране такие агрегаты не распространены, а их разработка с обоснованием параметров и режимов работы является актуальной задачей.

Цель исследований: разработка агрегата для одновременного смешивания однокомпонентных удобрений и точечного дифференцированного внесения полученных тукосмесей в зависимости от потребности почвы в питательных элементах.

Материалы и методы

Геоинформационными агротехнологиями точно земледелия предусматривается проведение отбора проб почвы механизированным способом с помощью мобильного комплекса по заранее определенному

маршруту в соответствии с методикой отбора проб. Методикой исследований предусматривалось создание электронной карты поля, на которой проложены треки движения мобильного комплекса с точками отбора проб почвы. Треки движения разработаны в научно-испытательном центре сельскохозяйственной техники НЦМУ «Агроинженерия будущего» Ставропольского ГАУ. Исследования провели в учебно-опытном хозяйстве Ставропольского ГАУ. Для отбора проб почвы с глубины 30 см использовали мобильный комплекс в составе автомобиля повышенной проходимости Mitsubishi L-200 с установленным на нем пробоотборником Niefeld Duoprob 60.

В основном исследовали зоны с пониженной урожайностью, которую определяли путем картирования урожайности (с помощью оборудованных на зерноуборочных комбайнах датчиков и приборов), использования технологии дистанционного зондирования земли и определения индексов NDVI развития растительной массы [5]. Анализ проб проводили в агрохимической лаборатории университета. Результаты лабораторного агрохимического обследования проб почвы прикрепляли к треку движения мобильного комплекса и вносили в электронную программу, с помощью которой создавалась картограмма содержания и распределения питательных элементов на поле. Эти данные также являлись основой для разработки карты-задания для дифференцированного внесения удобрений. Например, результаты агрохимического обследования поля, представленного на рисунке 1, показывают, что содержание питательных элементов (фосфора, азота и калия) носят значительную вариабельность внутри участка и не соответствуют однотипному распределению [5].

Полученные результаты послужили основанием для разработки технологии поэлементного внесения питательных элементов (тукосмеси) непосредственно в полевых условиях. Такое решение обосновано значительной сегрегацией различных однокомпонентных минеральных удобрений при смешивании

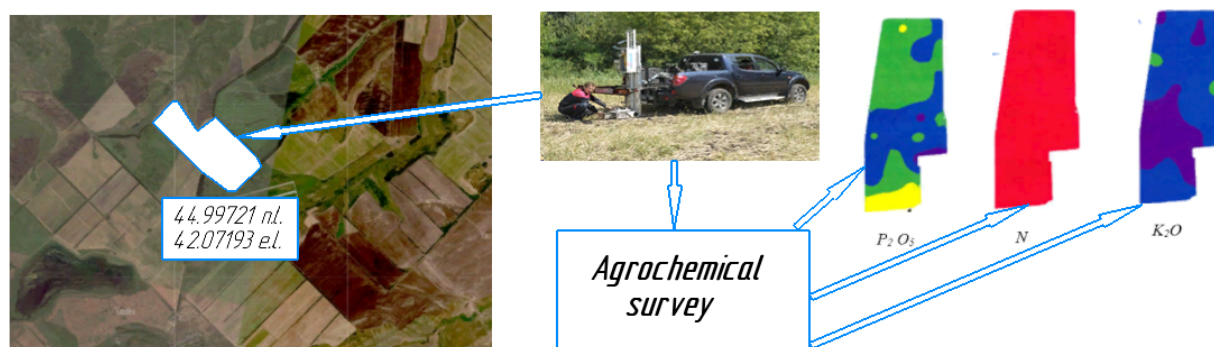


Рис. 1. Процесс получения картограмм распределения питательных элементов на поле

Fig. 1. Producing nutrient distribution maps of a field

их в стационарных условиях и потерей в процессе доставки тукосмеси к месту внесения своих полезных свойств. Для осуществления процесса дифференцированного внесения тукосмеси в полевых условиях необходим агрегат, соответствующий этим требованиям.

Результаты и их обсуждение

В основном внесение ТМУ производится разбросным поверхностным способом машинами с центробежными дисковыми устройствами. Неравномерность внесения ТМУ при таком способе может составлять 10...65%, что в конечном счете может привести к недобору урожая до 20% [6]. Добиться большей равномерности внесения ТМУ позволяют разбрасыватели штангового типа. Наибольшей производительностью и равномерностью распределения ТМУ, а также возможностью проведения дифференциации рассева обладают штанговые распределители с пневмотранспортирующей системой рассева ТМУ.

В современных разбрасывателях штангового типа с пневмотранспортирующей системой рассева ТМУ, предназначенных для внесения комплексных минеральных удобрений, не предусмотрено использование трехсекционных бункеров [7]. В разработанной нами конструкции агрегата штангового типа

с пневмотранспортной системой предусматривается установка бункера, разделенного на 3 отсека (для каждого удобрения с преобладающим содержанием одного из элементов питания – N, P или K), под каждым из которых устанавливается дозирующее устройство для порционного рассеивания удобрений по индивидуальной программе. Пневмотукопровод соединен с управляющими разделителями пневмотукопотока и пневмопроводами n-го количества ступеней, которые оканчиваются распределительными соплами (рис. 2) [8].

Агрегат штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукосмесей в ресурсосберегающих геоинформационных агротехнологиях точного земледелия работает следующим образом. Определенное количество питательных элементов из трех отсеков бункера 1 при помощи дозатора 2 направляется в основной пневмопровод 4, где пневмопоток, создаваемый вентилятором 3, транспортируется к управляемому разделителю 5 пневмотукопотока первой ступени, который поворотом заслонки 6 производит регулировку объема и перенаправление пневмотукопотока по разделяющимся пневмопроводам 7 первой ступени, после чего процесс продолжается, и заслонкой 8 управляющего разделителя пневмотукопотока второй ступени материал

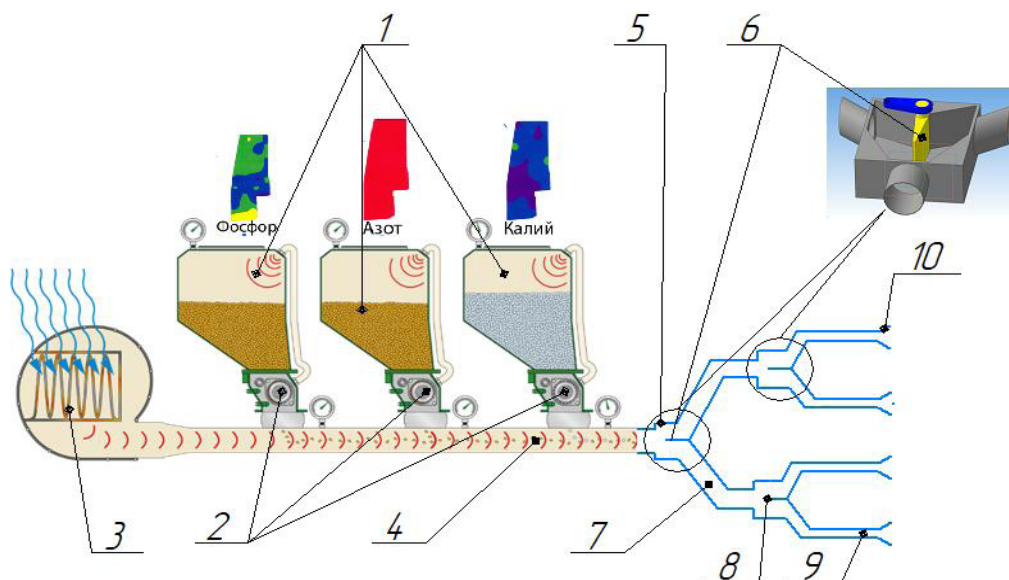


Рис. 2. Схема агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукосмесей:

- 1 – отсеки бункера; 2 – дозаторы; 3 – вентилятор; 4 – основной пневмопровод;
5 – управляемый разделитель пневмотукопотока первой ступени; 6 – заслонка;
7 – пневмопровод первой ступени; 8 – управляемый разделитель пневмотукопотока второй ступени;
9 – пневмопровод второй ступени; 10 – распределительные сопла

Fig. 2. Diagram of a boom-type unit with a pneumatic transport system for variable-rate application of fertilizer mixtures:

- 1 – hopper compartments; 2 – dispensers; 3 – fan; 4 – main pneumatic line;
5 – first-stage controlled flow divider of the pneumatic fertilizer; 6 – damper; 7 – first-stage pneumatic line;
8 – second-stage controlled flow divider of the pneumatic fertilizer; 9 – second-stage pneumatic line;
10 – third-stage controlled flow divider of the pneumatic fertilizer; 11 – third-stage pneumatic line; 12 – distribution nozzles

направляется по пневмопроводам 9 второй ступени, где через распределительные сопла 10 тукосмесь разбрасывается по полю (рис. 2).

Несмотря на различия геометрических и аэродинамических параметров однокомпонентных удобрений, происходит их смешивание друг с другом в необходимом количестве и разбрасывание по поверхности поля. Схема принципа работы агрегата при различных вариантах установки заслонки управляемого разделителя пневмотукопотока приведена на рисунке 3.

Вентилятор 3 должен обеспечивать необходимый напор H_6 и производительность Q_6 для надежного транспортирования и распределения материала из дозаторов 2 в основной пневмопровод 4, и далее – через управляемые разделители 6, 8 пневмотукопотока к распределительным соплам 10.

Подача материала в основной пневмопровод через дозаторы, расположенные в бункере, позволяет регулировать норму внесения удобрений и соотношение компонентов в смеси.

Если при выполнении технологической операции рабочая ширина захвата машины изменяется, то при использовании объемного дозатора подача каждого компонента определится выражением:

$$Q_i = f(B_p; q_i; V_m; \rho_i), \quad (1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата машины, м; q_i – доза вносимого удобрения, кг/га; V_m – скорость движения машины, м/с; ρ_i – плотность частиц компонента, кг/м³.

При этом

$$\begin{aligned} B_p &= f_1(x; y); \\ q_N &= f_2(x; y); \\ q_P &= f_3(x; y); \\ q_K &= f_4(x; y); \\ V_m &= f_5(t); \\ \rho_i &= f_6(BV; W_y; W_g), \end{aligned} \quad (2)$$

где x, y – координаты учетной площадки (в технологиях off-line) или координаты поля (в технологиях on-line); t – текущее время, с; ВУ – вид удобрений; W_y и W_g – влажность удобрения и воздуха.

Подача материала за единицу времени в основной пневмопровод равна сумме подач компонентов:

$$Q = Q_{iF(N)} + Q_{iF(P)} + Q_{iF(K)}, \quad (3)$$

где $Q_{iF(N)}$, $Q_{iF(P)}$, $Q_{iF(K)}$ – подача азотных, фосфорных, калийных удобрений соответственно, кг/с.

Общий расход материала через распределительные сопла определим по формуле:

$$Q_x = \sum_{i=1}^k q_i, \quad (4)$$

где q_i – производительность i -го распределительного сопла; k – число распределительных сопел.

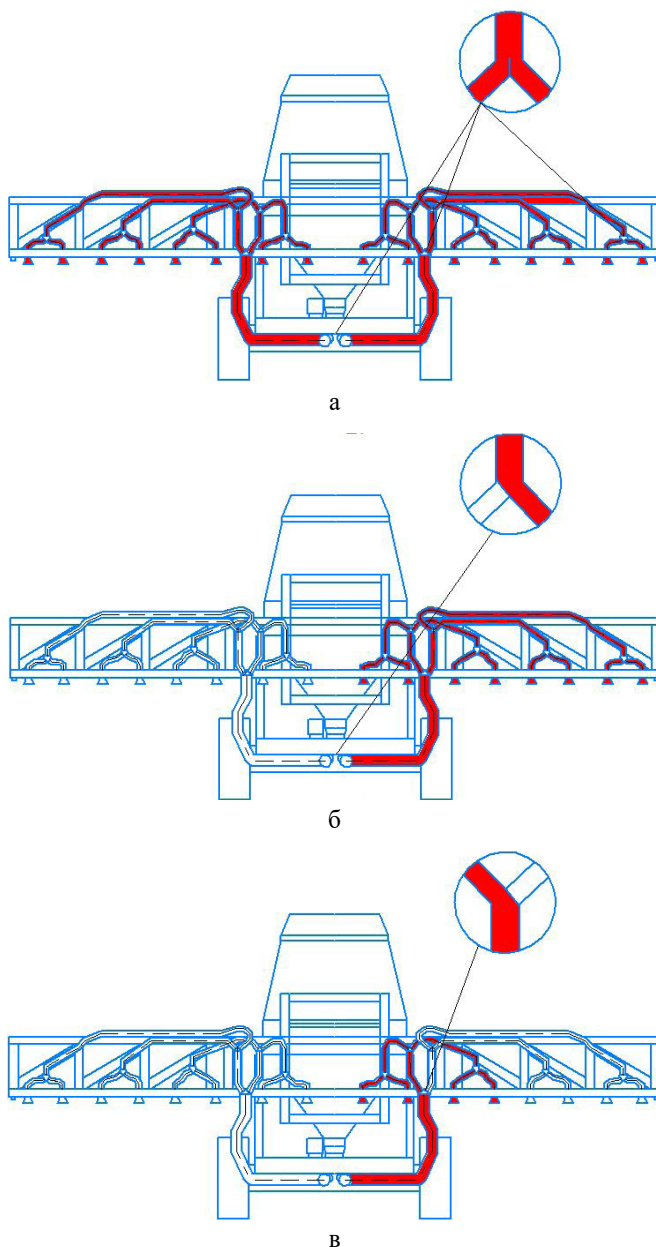


Рис. 3. Схема принципа работы агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукосмесей:
а – при установке заслонок управляемых разделителей пневмотукопотоков всех ступеней в среднем положении;
б – при установке заслонки управляемого разделителя пневмотукопотока 1-й ступени в крайнее левое положение;
с – при установке заслонки управляемого разделителя пневмотукопотока 2-й ступени в крайнее правое положение

Fig. 3. Schematic diagram of the operating principle of a boom-type unit with a pneumatic transport system for variable-rate application of fertilizer mixtures:

а – when the dampers of the controlled pneumatic granular flow dividers of all stages are set to the middle position;
б – when the damper of the controlled pneumatic granular flow divider of stage 1 is set to the extreme left position;
с – when the damper of the controlled pneumatic granular flow divider of stage 2 is set to the extreme right position

С другой стороны, подача материала за единицу времени (Q , м³/с), поступающего в основной пневмопровод, должна быть равна:

$$Q = \frac{q_F \cdot V_{\text{маш}} \cdot B_p}{10^4 \cdot \gamma}, \quad (5)$$

где q_F – доза удобрений, вносимая на единицу площади, кг/га; $V_{\text{маш}}$ – скорость движения машины, м/с; B_p – рабочая ширина захвата, м; γ – объемный вес удобрений, кг/м³.

Входящая в выражение (5) доза q_F зависит от вида вносимых удобрений или известковых материалов, способа внесения, природно-климатической зоны и ряда других факторов¹.

Зависимость (5) является исходной для определения геометрических и кинематических параметров смесителя. Из нее следует, что максимальный объем материала нужно находить для нескольких видов удобрений, различающихся не только максимально заданными дозами $q_{F(\max)}$, но и их объемным весом γ [9, 10].

Необходимым условием выполнения технологического процесса дифференцированного внесения минеральных удобрений является обеспечение равенства:

$$Q_x = Q. \quad (6)$$

Подставив в (6) значения входящих величин и решив относительно q_p , получим

¹ Забродин В.П. Механизация процессов адаптивного внесения минеральных удобрений: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Зерноград, 2004. 40 с.

Список источников

1. Shafi U., Mumtaz R., García-Nieto J. et al. Precision agriculture techniques and practices: from considerations to applications. *Sensors*. 2019;19(17):3796. <https://doi.org/10.3390/s19173796>
2. Dhoubhadel S.P. Precision agriculture technologies and farm profitability. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2021;46(2):256-268. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.303598>
3. Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision agriculture for crop and livestock farming – Brief review. *Animals*. 2021;11(8):2345. <https://doi.org/10.3390/ANI11082345>
4. Nowak B. Precision agriculture: Where do we stand? A review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries. *Agricultural Research*. 2021;10:515-522. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00539-x>
5. Ридный С.Д., Кустарников И.А. Тукоsmешивание минеральных удобрений в технологиях точного земледелия // Сборник научных докладов ВИМ. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2012. Т. 2. С. 456-463. EDN: PWJNJB
6. Батурин В.А., Личман Г.И. Обоснование параметров пневмосистемы машины для дифференцированного внесения минеральных удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 6. С. 26-30. EDN: OUXGZV
7. Кулешов М.С., Макаров В.А. Параметры делителя пневматической машины для внесения твердых минеральных удобрений // Проблемы механизации агрохимического

максимальный расход (q_{\max} , м³/с) распределительного сопла:

$$q_{\max} = \frac{q_{F(\max)} \cdot V_{\text{маш}} \cdot B_p}{10^4 \cdot \gamma \cdot k}, \quad (7)$$

где k – число распределительных сопел, расположенных на штанге.

Выводы

1. Существующие технологии внесения удобрений не позволяют всесторонне реализовать принципы точного земледелия. Разработка агрегата для одновременного дозирования и внесения однокомпонентных минеральных удобрений (тукоsmесей) дифференцированным способом является научно и практически значимой задачей.

2. Предложенная конструкция агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой для дифференцированного внесения тукоsmесей с отдельными бункерами и системой индивидуального дозирования позволит ликвидировать проблему сегрегации тукоsmесей при их транспортировке к полю, обеспечит точное соответствие вносимого соотношения N: P: K реальной потребности каждого участка поля, повысит равномерность распределения удобрений по сравнению с центробежными машинами.

3. Разработка агрегата штангового типа с пневмотранспортной системой позволит существенно экономить удобрение и минимизировать негативное воздействие их на окружающую среду.

References

1. Shafi U., Mumtaz R., García-Nieto J. et al. Precision agriculture techniques and practices: from considerations to applications. *Sensors*. 2019;19(17):3796. <https://doi.org/10.3390/s19173796>
2. Dhoubhadel S.P. Precision agriculture technologies and farm profitability. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2021;46(2):256-268. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.303598>
3. Monteiro A., Santos S., Gonçalves P. Precision agriculture for crop and livestock farming – Brief review. *Animals*. 2021;11(8):2345. <https://doi.org/10.3390/ANI11082345>
4. Nowak B. Precision agriculture: Where do we stand? A review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries. *Agricultural Research*. 2021;10:515-522. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00539-x>
5. Ridny S.D., Kustarnikov I.A. Application of mineral fertilizers in precision farming technologies. *Sbornik nauchnykh dokladov VIM*. Moscow, 2012;2:456-463. (In Russ.)
6. Baturin V.A., Lichman G.I. Rationale for the pneumatic system parameters of a machine for variable-rate application of mineral fertilizers. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011;6:26-30. (In Russ.)
7. Kuleshov M.S., Makarov V.A. Divider parameters of pneumatic machine for solid mineral fertilizers. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obsluzhivaniya selskogo khozyaystva*. 2013;5:224-227. (In Russ.)
8. Ridny S.D., Kustarnikov I.A. Unit for variable-rate application of mixtures of solid granular fertilizers. In: *Aktualnye*

обслуживания сельского хозяйства. 2013. № 5. С. 224-227. EDN: HEYRRZ

8. Ридный С.Д., Кустарников И.А. Агрегат для дифференцированного внесения твердых гранулированных тукоосмесей // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: Сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции в рамках XIX Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2012». Ставрополь: Издательство «Агрус», 2012. С. 257-262. EDN: RAHYER

9. Сиднева И.Е., Курдюмов В.И., Павлушин А.А. Теоретическое обоснование параметров рабочего органа разбрасывателя минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (59). С. 6-11. EDN: AIJUQW

10. Богус А.Э. Анализ процесса работы распределительных устройств зерновых пневматических сеялок // Итоги научной исследовательской работы за 2017 год: Сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции преподавателей. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. С. 267-268. EDN: YWHOFI

Информация об авторах

¹Ридный Сергей Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент; ridnyy@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-5187-029X>; SPIN-код: 7235-3952

²Кулаев Егор Владимирович, канд. техн. наук, доцент; bratinsa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4152-6239>; SPIN-код: 5026-7319

³Грицай Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент; gritcay_kirill@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3277-9461>; SPIN-код: 4267-4394

⁴Баганов Николай Анатольевич, канд. техн. наук, доцент; baganov75@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8094-2975>; SPIN-код: 1123-5165

⁵Димитров Анатолий Анатольевич, ассистент; diagryp12@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-8321-4180>; SPIN-код: 9721-5036

⁶Мастепаненко Максим Алексеевич, канд. техн. наук, доцент; mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8684-118X>; SPIN-код: 1676-2740

⁷Арженовский Алексей Григорьевич, д-р техн. наук, профессор; argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>; SPIN-код: 5549-4841

^{1,2,3,4,5,6}Ставропольский государственный аграрный университет; 355017, Российская Федерация, Ставропольский край, г. Ставрополь, Зоотехнический пер., 12

⁷Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

С.Д. Ридный – концептуализация, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
Е.В. Кулаев – формальный анализ;
Д.И. Грицай – создание черновика рукописи;
Н.А. Баганов – методология;
А.А. Димитров – проведение исследований;
М.А. Мастепаненко – руководство исследованиями;
А.Г. Аржановский – администрирование проекта.

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанного с проведенными исследованиями и публикацией настоящей статьи. Статья поступила 10.10.2025, после рецензирования и доработки 14.11.2025; принята к публикации 18.11.2025

problemy nauchno-tekhnologicheskogo progressa v APK. Proceedings of the VII International scientific and practical conference within the framework of the XIX International agro-industrial exhibition “Agrouniversal – 2012”. 2012:257-262. (In Russ.)

9. Sidneva I.E., Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A. Theoretical substantiation of the working body parameters of a mineral fertilizer distributor. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;3:6-11. (In Russ.)

10. Bogus A.E. Analysis of the process of operation of switchgears of grain pneumatic seeders. *Itogi nauchno-issledovatel'skoy raboty za 2017 god: Proceedings of the 73rd Scientific and practical conference of teachers*. Krasnodar, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2018:267-268. (In Russ.)

Authors Information

Sergey D. Ridny¹, CSc (Eng), Associate Professor; ridnyy@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0009-0004-5187-029X>

Egor V. Kulaev², CSc (Eng), Associate Professor; bratinsa@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4152-6239>

Dmitriy I. Gritsay³, CSc (Eng), Associate Professor; gritcay_kirill@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3277-9461>

Nikolay A. Baganov⁴, CSc (Eng), Associate Professor; baganov75@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8094-2975>

Anatoly A. Dimitrov⁵, Assistant Professor; diagryp12@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-8321-4180>

Maxim A. Mastepanenko⁶, CSc (Eng), Associate Professor; mma_26@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8684-118X>

Alexey G. Arzhenovskiy⁷, DSc (Eng), Professor; argenowski@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3569-8934>
^{1,2,3,4,5,6}Stavropol State Agrarian University; Zootehnicheskyy Lane 12, Stavropol, Stavropol Krai, Russian Federation

⁷Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contributions

S.D. Ridny – conceptualization, writing – review and editing of the manuscript;
E.V. Kulaev – formal analysis;
D.I. Gritsay – writing – original draft;
N.A. Baganov – methodology;
A.A. Dimitrov – investigation;
M.A. Mastepanenko – research supervision;
A.G. Arzhanovskiy – project administration.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests related to the conducted research and the publication of this article.

Received 10.10.2025; Revised 14.11.2025; Accepted 18.11.2025