

## О РАЗРАБОТКЕ МАШИНЫ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С ВЫСОКИМ КАЧЕСТВОМ

**В. С. АСТАХОВ, С. В. КУРЗЕНКОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407*

*(Поступила в редакцию 06.01.2023)*

*За исторически короткий срок человечество достигло колоссальных успехов в развитии научно-технического прогресса. Это значительно облегчило труд по обеспечению людей достаточным количеством продуктов питания – главной основы жизни на земле. Однако количество людей на планете Земля стало быстро увеличиваться, что привело к недостаточному количеству продуктов питания. Для решения этой проблемы использование интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с массивным использованием минеральных удобрений и пестицидов привело к экологическим проблемам и ухудшению качества продуктов питания. Ставка на экологическое земледелие без удобрений и пестицидов не может гарантировать решение проблемы достаточности продуктов питания из-за низких урожаев. Лишь применение технологий точного земледелия с дифференцированным использованием энергетических ресурсов способно значительно решить эту проблему. Для снижения негативного влияния минеральных удобрений и пестицидов на окружающую среду и продукты питания, а также повышения их эффективности использования, необходимо разрабатывать машины с высокой равномерностью распределения по ширине захвата 2...5 % и дифференцированным их применением в зависимости от пестроты плодородия почвы или наличия очагов вредителей, болезней, сорной растительности. Использование центробежных разбрасывателей удобрений, обеспечивающих плохую равномерность по ширине захвата для дифференцированного внесения удобрений дискредитирует саму идею точного земледелия. Поэтому в статье предлагается принципиально иной подход по внесению гранулированных минеральных удобрений дифференцированным способом с использованием пневматических систем группового дозирования конструкции УО БГСХА, с возможностью определения на ширине 0,75 м основных питательных элементов в почве с использованием сенсорных датчиков. Эффективность операции дифференцированного внесения удобрений в режиме реального времени (On-line) в значительной степени будет зависеть от качества работы сенсорного датчика. Поэтому работа над таким датчиком крайне важна для мировой агро-отрасли.*

**Ключевые слова:** *точная технология, минеральные удобрения, сенсорные датчики, дифференцированное внесение, экологические проблемы, машины для внесения удобрений.*

*In a historically short period, humanity has achieved colossal success in the development of scientific and technological progress. This greatly facilitated the work of providing people with enough food – the main basis of life on earth. However, the number of people on planet Earth began to increase rapidly, which led to an insufficient amount of food. To solve this problem, the use of intensive crop cultivation technologies with the massive use of mineral fertilizers and pesticides has led to environmental problems and the deterioration of food quality. A bet on organic farming without fertilizers and pesticides cannot guarantee a solution to the problem of food sufficiency due to low yields. Only the use of precision farming technologies with a differentiated use of energy resources can significantly solve this problem. To reduce the negative impact of mineral fertilizers and pesticides on the environment and food, as well as to increase their efficiency of use, it is necessary to develop machines with a high distribution uniformity over the working width of 2 ... 5 % and their differentiated use depending on the diversity of soil fertility or the presence of outbreaks of pests, diseases, and weeds. The use of centrifugal fertilizer spreaders that provide poor width uniformity for differentiated fertilization discredits the very idea of precision farming. Therefore, the article proposes a fundamentally different approach to the introduction of granular mineral fertilizers in a differentiated way using pneumatic group dosing systems designed by EE BSAA, with the ability to determine the main nutrients in the soil at a width of 0.75 m using sensors. The efficiency of on-line differential fertilizer application will largely depend on the quality of the sensor. Therefore, work on such a sensor is extremely important for the global agro-industry.*

**Key words:** *precision technology, mineral fertilizers, sensors, differential application, environmental issues, fertilizer application machines.*

### **Введение**

За последнее столетие человечество достигло колоссальных успехов в развитии научно-технического прогресса. Наши недалекие предки не могли представить, что человечество в короткий срок сможет изобрести тракторы и автомобили, радио и свет, укротит ядерную энергию и прорвется в космос. Интенсивность развития науки приобрело невиданный размах даже для нынешних современников. Все это существенно облегчило труд землян в деле обеспечения их продуктами питания, главной основы жизни на планете Земля. Однако население планеты, имеющей ограниченные размеры, стало быстро наполняться новыми едоками, что привело к проблеме производства достаточного количества сельскохозяйственной продукции. В настоящее время при населении 8 млрд человек по данным ООН голодают около 1 млрд. По этой причине для увеличения количества продуктов питания в развитых странах стали использоваться интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур с массивным использованием минеральных удобрений и пестицидов.

Казалось, что это наиболее рациональный и правильный путь. Но проблемы рачительного отношения к запасам сырья, энергетическим ресурсам и охране окружающей среды становились все острее. Получаемые продукты питания стали оказывать влияние на здоровье человека, а экологи забили тревогу в связи с существенным ухудшением среды обитания не только для человека, но и всего живого и растительного мира. Поэтому наметился новый поворот в земледелии с полным отказом от минеральных удобрений и пестицидов для получения качественных продуктов питания. Но экологическое земледелие из-за низких урожаев не в состоянии обеспечить население планеты в полной мере продуктами питания. Оно может быть использовано как часть с.-х. производства для создания очагов здорового питания для отдельных категорий граждан. А усилия ученых следует направить на разработку принципиально новых машин и технологий, которые бы смогли существенно снизить негативное влияние минеральных удобрений и пестицидов на окружающую среду и продукты питания, а также повысить их эффективность использования.

#### **Основная часть**

На рост и развитие сельскохозяйственных культур влияют множество факторов, многие из которых на сегодня не подвластны человеку. Это температура и влажность воздуха, сумма активных температур, количество осадков и частота их выпадения, направление и скорость ветра, облачность и уклоны полей, фотосинтетически активная радиация и многие другие факторы. Но бурное развитие космических технологий, электроники, приборостроения, информатики, аэрокосмического зондирования поверхности земли позволили приступить к разработке технологий точного земледелия в 90-х годах прошлого столетия.

В основу точного земледелия легло дифференцированное применение энергетических затрат в пределах поля из-за пестроты почвенного плодородия, обусловленное изменениями содержания гумуса и основных элементов питания в почве. Эта технология позволяет сделать качественный и количественный прорыв в получении оптимального урожая и обеспечивает экономию ресурсов на 20...30 %, существенно повышая эффективность и экологические показатели использования земельных ресурсов [1]. В связи с этим одним из элементов точного земледелия является дифференцированное внесение удобрений. При наличии значительной пестроты почвенного плодородия в результате дифференцированного внесения удобрений точно рассчитанная норма удобрения вносится только на тех участках поля, где это необходимо. Одинаковое внесение удобрений на таких полях приводит к их локальной передозировке или недостаточности. Преимуществами данной технологии являются как повышение экономической эффективности использования дорогостоящих минеральных удобрений, так и снижение риска загрязнения окружающей среды избыточным количеством средств химизации [2, 3]. Однако следует понимать, что эффективность данной работы существенно зависит как от качества определения пестроты основных элементов питания в почве, так и от качества выполнения операции дифференцированного внесения удобрений той или иной машиной.

В настоящее время дифференцированное внесение минеральных удобрений осуществляется двумя основными способами: внесение в режиме реального времени (on-line) и в режиме с предварительно подготовленной электронной картой поля (off-line). Методика внесения минеральных удобрений в режиме с предварительно подготовленной картой поля (off-line) описана во многих работах [4, 5]. Но существующая методика определения пестроты почвенного плодородия за счет анализа почвенных проб, взятых с полей в ограниченном количестве, не соответствует реальной пестроте плодородия. А использование машин с центробежными разбрасывателями, которые обеспечивают плохую равномерность распределения удобрений по полю (25...50 %) из-за их конструкции, исчерпавшей возможности модернизации по улучшению равномерности, на операции дифференцированного внесения удобрений дискредитирует саму эту операцию.

Нужно признать, что такие машины имеют сотни регулировок, зависящих от человеческого фактора, а методика настройки «хороша» лишь при обучении студентов, а не на практике. Именно использование таких машин в мировой практике на протяжении длительного времени, на наш взгляд, и привело к экологическим проблемам и пестроте почвенного плодородия. Центробежные разбрасыватели хороши простотой конструкции и большой производительностью, низкими затратами труда. Поэтому они широко распространены в мире (свыше 80 % от всех аналогичных машин). Однако существующие глобальные проблемы ставят под вопрос целесообразность использования таких машин в будущем. Перед инженерами стоит задача разработки принципиально новых машин, способных обеспечить высокую общую равномерность внесения (2...5 %) удобрений и при необходимости дифференцированным способом.

Наукой и практикой доказано, что в Республике Беларусь, где естественное плодородие почв находится на высоком уровне, а влажность достаточная, внесение удобрений обеспечивает до 75 % прироста

урожая. При этом около 60 % питательных веществ вносится в почву с минеральными удобрениями (туками). Промышленность нашей республики выпускает как простые минеральные удобрения, содержащие один элемент питания, так и комплексные (сложные, сложно-смешанные и смешанные), содержащие два-три элемента питания, а также твердые и жидкие. Однако широкое использование химических удобрений вызывает усиление процессов минерализации органического вещества почвы. Это приводит к необходимости производства и рационального использования органических удобрений. На долю органических удобрений в общем балансе вносимых в почву питательных веществ приходится около 40 %.

В настоящее время и белорусскими и российскими учеными было установлено, что точное внесение минеральных удобрений путем применения центробежных разбрасывателей не является таким эффективным на практике, как оно обосновано в теории. Центробежные разбрасыватели на сегодняшний момент не способны осуществлять равномерную подачу по ширине внесения удобрений. Это демонстрирует практический опыт использования такого типа агрегатов. Также есть претензии к системе точного земледелия, особенно в вопросе составления электронных карт. На сегодняшний момент спутниковое зондирование почвы на предмет содержания в ней различных питательных веществ не полностью удовлетворяет желаемым результатам, ввиду низкой точности определения этих самых веществ и требует дополнительной доработки, путем проведения различных химических анализов [6]. Однако, даже химический анализ почвы путем взятия проб почвы не решает проблему качественного и равномерного внесения минеральных удобрений. Сегодня при агрохимическом обследовании почв, согласно методическим указаниям, делают всего 30–35 уколов, то есть отбирают 30–35 проб общим весом 0,6 кг на каждом элементарном участке (средний размер участка по республике – 10 га, а при однородности почвенного покрова угодий и больших полях севооборотов – до 20 га). Однако такие мизерные анализы дают только среднее значение элементарного участка, что не может считаться полноценной агрохимической картой поля, так как не отражает всей фактической пестроты плодородия элементарного участка. Следовательно, такой объем данных не имеет никакого отношения к дифференцированному внесению удобрений. Проведенные исследования по размерам, контурности и уклонам полей в самых разных хозяйствах Республики Беларусь показали, что содержание основных элементов питания, кислотность почв, наличие гумуса практически по всем створам взятия проб резко отличаются друг от друга каждые 3–5 метров. Анализ фактических данных подтверждает исключительно высокую вариабельность показателей, достигающих на одном и том же поле от 60–90 до 250–300 % и более, по отдельным результатам исследований – до семи раз. Учитывая вышеописанное, следует также упомянуть про высокую стоимость проведения химического анализа почвы. Таким образом, при условии соблюдения абсолютно всех норм внесения удобрений и для получения максимально качественного результата, нам пришлось бы совершать взятие проб едва ли ни с каждого метра всей площади поля, что в свою очередь является крайне труднореализуемой, астрономически дорогой и, говоря прямо, абсолютно ненужной процедурой.

Существуют ли в мире машины, способные с высокой равномерностью (2–5 %) вносить дифференцированно необходимые дозы твердых минеральных удобрений на ширине захвата 1–3 метра? Нам такие машины неизвестны. А существующие центробежные и штанговые машины неспособны выполнить данные требования. Следовательно, назрела острая необходимость в разработке принципиально иных подходов к дифференцированному внесению гранулированных минеральных удобрений в Республике Беларусь. Поэтому мы предлагаем принципиально иной подход по внесению минеральных гранулированных удобрений дифференцированным способом с использованием пневматических систем группового дозирования конструкции УО БГСХА, с возможностью определения на ширине 0,75 м основных питательных элементов в почве с использованием сенсорных датчиков рис. 1. Проведенные ранее исследования пневматической системы группового дозирования на высевах суперфосфата от 80 до 1200 кг/га показали высокую эффективность такой системы, обеспечившей равномерность высева 2–5 % [7].

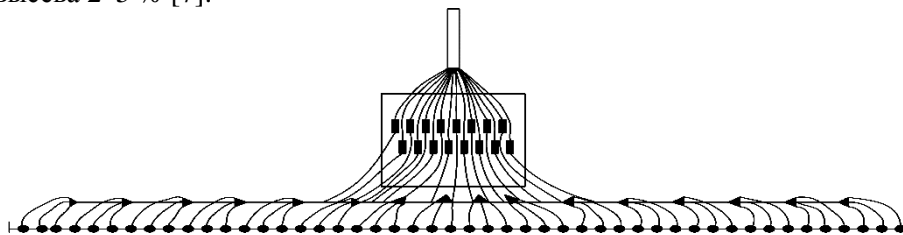


Рис. 1. Принципиальная схема пневматической высевальной системы для дифференцированного внесения гранулированных минеральных удобрений

Это позволит отказаться от существующих в настоящее время систем точного земледелия, предполагающих создание электронных карт полей, которые требуют больших материальных затрат на их создание. К тому же современная система точного земледелия с использованием существующих машин, не адаптирована под наш метод внесения минеральных удобрений [7, 8]. Повышение качества внесения гранулированных минеральных удобрений дифференцированным способом с использованием пневматических систем группового дозирования, которую мы предлагаем, является более практичной для качественного внесения минеральных удобрений в контексте систем точного земледелия. Она не требует создания электронных карт полей по содержанию питательных элементов. Процесс дифференцированного внесения удобрений происходит в автоматизированном режиме за счет сенсорных датчиков, которые управляют скоростью вращения катушек, подавая сигнал на их электрические двигатели.

Почвенные сенсоры являются важными источниками информации для точного земледелия. Будущее принадлежит таким датчикам, установленным непосредственно на агрегатах или тракторах и выдающим сигнал на терминал управления в тракторе, который управляет параметрами работы агрегата (опрыскивателя или машины для внесения удобрений). Разрабатываются и соответствующие программные комплексы для обеспечения совместной работы сенсоров и оборудования точного земледелия. От качества работы сенсорного датчика по определению наличия в почве доступных для растений основных питательных элементов будет существенно зависеть эффективность операции дифференцированного внесения удобрений [9]. Поэтому работа над такими датчиками крайне важна для мировой агро-отрасли, поскольку необходимо обеспечить высокую точность работы этих датчиков независимо от влияния различных факторов (скорость движения агрегата, наличие растительных остатков, влажности и плотности почвы, разновидности почв и т.д.).

### **Заключение**

Сегодня это принципиально новое направление в дифференцированном внесении гранулированных минеральных удобрений, но точность этого способа существенно зависит от используемых для этого машин. Разработанная в нашей академии пневматическая система группового дозирования с распределителями семян горизонтального типа способна обеспечить не только точное, но и прецизионное внесение твердых удобрений, что может стать мировым трендом в данной области. Поэтому следует применить максимум усилий для реализации этой идеи. Совершенствование этой технологии позволит значительно повысить эффективность внесения минеральных удобрений и сократить дозы вносимых удобрений, а также загрязнение окружающей среды.

Реализацию данной идеи, на наш взгляд, можно осуществить за счёт модернизации сеялки СУ-12-01 конструкции ОАО «Лидагропроммаш» с использованием научных результатов проводимой нами работы. Предложение о сотрудничестве по этому вопросу направлено на данный завод.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Лобков, В. Т. Анализ приоритетных направлений развития земледелия на современном этапе научно-технического прогресса / В. Т. Лобков, С. А. Плыгун // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. – 2012. – №2. – С. 3–9.
2. Боровкова, А. С. Дифференцированное внесение минеральных удобрений в условиях лесостепи Самарской области / А. С. Боровкова, А. П. Цирулев // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2008. – №4. – С. 56–61.
3. Матвеевко, Д. А. Методические подходы для реализации дифференцированного внесения азотных удобрений в посевах яровой пшеницы / Д. А. Матвеевко // *Агрофизика*. – 2012. – №2. – С. 16–23.
4. Еремин, Д. И. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия / Д. И. Еремин, Ю. П. Кибук // *Вестник КрасГАУ*. – 2017. – №8. – С. 17–26.
5. Абрамов, Н. В. Дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием космических систем / Н. В. Абрамов, С. В. Шерстобитов, О. Н. Абрамов // *Агропродовольственная политика России*. – 2014. – №2. – С. 2–8.
6. Астахов, В. С. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // *Вестник БГСХА – Горки: 2022* – №1. – С. 133–136.
7. Астахов, В. С. Результаты испытаний пневматической централизованной высевальной системы при внесении минеральных удобрений / В. С. Астахов // *Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь*. – 1997. – №1. – С. 67–72.
8. Астахов, В. С. К вопросу значимости минеральных удобрений в управлении производственным процессом и повышении их эффективности при использовании различных машин и способов внесения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // *Вестник БГСХА – Горки: 2022* – №2. – С. 192–194.
9. Астахов, В. С., Точное земледелие как элемент ресурсосбережения и экологической безопасности / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // *Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых «Молодежь и инновации – 2022»*, Горки, 25–27 мая 2022 г., С. 87–91.