

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
МЕХАНИЗАЦИИ  
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ  
ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ  
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Рекомендации*

*для специалистов сельского хозяйства, студентов, магистрантов,  
аспирантов, слушателей Института повышения квалификации  
и переподготовки кадров*

Горки  
БГСХА  
2023

УДК 631.333(075.8)

ББК 40.724я73

A91

*Рекомендовано Научно-техническим советом БГСХА.*

*Протокол № 3 от 16 марта 2023 г.*

Авторы:

доктор технических наук, профессор *В. С. Астахов*;

аспирант *Г. О. Иванчиков*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. Н. Босак*;

кандидат технических наук, доцент *Г. Н. Лысевский*

**Астахов, В. С.**

A91

Концептуальные проблемы механизации дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений и пути их решения : рекомендации / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков. – Горки : БГСХА, 2023. – 45 с.

ISBN 978-985-882-359-7.

Приведен обзор способов и машин для внесения твердых минеральных удобрений. Предложена принципиально новая концепция по дифференцированному процессу внесения твердых минеральных удобрений.

Для специалистов сельского хозяйства, студентов, магистрантов, аспирантов, слушателей Института повышения квалификации и переподготовки кадров.

УДК 631.333(075.8)

ББК 40.724я73

ISBN 978-985-882-359-7

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2023

## ВВЕДЕНИЕ

За последние столетия 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 электрический свет, укротит ядерную энергию и прорвется в космос. Интенсивность развития науки приобрела невиданный размах даже для 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 увеличиваться, 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 использовать интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур с массированным применением минеральных удобрений и пестицидов для существенного увеличения урожаев сельскохозяйственных культур.

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 для животного 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 сельскохозяйственного 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 эффективность их использования.

## **1. К ВОПРОСУ ЗНАЧИМОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

Удобрения за всю историю существования сельского хозяйства и сельскохозяйственных наук являлись одним из определяющих факторов влияния на почвенное плодородие. Ученые из различных стран солидарны во мнении, что применение удобрений способствует значительному приросту урожая, который порой достигает от 50 до 70 %. Но большое внимание стоит уделять также дозированию внесения удобрений, так как без применения оптимальных доз удобрений невозможно увеличить производство сельскохозяйственной продукции. Агрохимической наукой также доказано, что способ размещения минеральных удобрений в почве существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы. Неравномерное внесение азотных удобрений в зависимости от пестроты их наличия в почве приводит к потерям урожая и накоплению в продуктах питания нитратов при избытке азота и к недобору 25–60 % урожая и снижению эффективности применения удобрений при недостатке азота. Стоит учесть, что показатель неравномерности распределения удобрений сверх допустимого уровня должен рассматриваться не только как причина недобора урожая сельскохозяйственных культур, но и как причина потерь самих удобрений.

Обобщая проблемы неравномерности внесения минеральных удобрений, можно на примере Республики Беларусь показать, что неравномерность их внесения составляет 35–40 %, а иногда достигает и 70 %. Это связано с отсутствием проведения необходимых настроек разбрасывателей или проведением этих настроек не на должном уровне. К тому же сама технология внесения удобрений путем применения разбрасывателей к настоящему времени практически полностью исчерпала свой потенциал. Это демонстрируют и зарубежные агрегаты для разбрасывания удобрений, показывая низкие результаты и не обеспечивая качественное внесение удобрений даже в идеальных условиях.

Исходя из вышеперечисленных недостатков, мы считаем, что в настоящее время особого внимания заслуживают штанговые машины с использованием пневматических систем группового дозирования, которые имеют большой потенциал к проведению модернизаций в настоящем и будущем и способны значительно увеличить равномер-

ность и качество внесения минеральных удобрений, а соответственно, повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

Одним из факторов управления производственным процессом и расширенного воспроизводства почвенного плодородия являются удобрения. Американские ученые в системе мер повышения урожая наибольший удельный вес (в процентах) отводят удобрениям – 41, далее гербицидам – 13–20, благоприятным погодным условиям – 15, гибридным семенам – 8, ирригации – 5, прочим факторам – 11–18. Немецкие ученые половину прироста урожая относят за счет применения удобрений, французские – 50–70 %.

В Беларуси данные агрохимической службы и передовых хозяйств убедительно доказывают, что за счет рационального применения удобрений может быть получено до 60 % и более прироста урожайности сельскохозяйственных культур.

По данным государственной агрохимической службы, в СССР 56 млн. гектаров пашни (45 %) характеризовалось низким содержанием гумуса, 43 млн. гектаров (36 %) – повышенной кислотностью, 28 млн. гектаров (23 %) – низким содержанием фосфора и 12 млн. гектаров (9 %) – низким содержанием калия, что лимитирует уровень урожайности на этих землях.

Без применения оптимальных доз удобрений невозможно увеличить производство сельскохозяйственной продукции. Перспективным направлением эффективного использования удобрений является припосевное внутрипочвенное внесение основной и стартовой дозы удобрений. Агрохимическими исследованиями доказана высокая эффективность локального внесения минеральных удобрений. Ориентированное размещение удобрений относительно корневой системы обеспечивает максимальную окупаемость удобрений и снижение загрязнения окружающей среды.

Согласно концепции развития агрохимии и агрохимического обслуживания сельского хозяйства, внесение 20 кг/га фосфора вразброс (поверхностно) дает прибавку зерна 1,0–1,5 ц/га, а при внесении в рядки с семенами – до 4,5 ц/га.

Доказано, что способ размещения минеральных удобрений в почве в значительной степени влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и плодородие почвы.

По характеру размещения минеральных удобрений относительно поверхности почвы различают поверхностное и внутрипочвенное внесение (рис. 1).

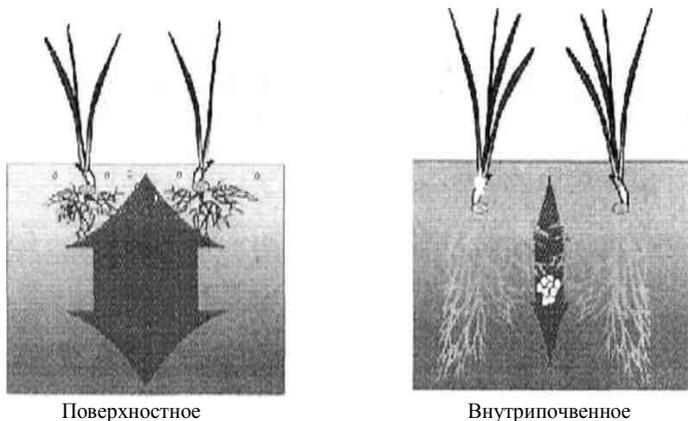


Рис. 1. Способы размещения удобрений относительно поверхности почвы

## 2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ МАШИН И СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ

Несмотря на высокую неравномерность внесения и экологическую вредность в настоящее время наибольшее распространение имеет поверхностный разбросной способ внесения минеральных удобрений. К числу наиболее значимых недостатков относится крайне неравномерное распределение удобрений по поверхности почвы, которое не должно превышать 10–20 %. Применяемые для этого технические средства такой равномерности не обеспечивают. Так, неравномерность внесения удобрений центробежными разбрасывателями доходит до 75–80 %, превышая допустимую неравномерность в 2–4 раза. Однако, согласно данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии», эффективность твердых минеральных удобрений находится в прямой зависимости от показателя неравномерности их внесения, т. е. снижение неравномерности внесения удобрений на 1 % приводит к увеличению прибавки урожая за их счет также на 1 %, и наоборот. Неравномерность распределения удобрений сверх допустимого уровня является причиной не только недобора урожая сельскохозяйственных культур, но и потерь самих удобрений. Следует признать, что неравномерное внесение дорогих твердых минеральных удобрений приводит и к потере денег, вложенных в приобретение этих удобрений. А в связи с

ограниченными природными ресурсами их экономия имеет мировое значение. Подсчитано, что по этой же причине республика ежегодно не добывает более 500 тыс. тонн зерна, а также большое количество другой сельскохозяйственной продукции. Львиная доля из этого недобора является следствием использования дисковых центробежных разбрасывателей, так как обеспечить на практике высокое качество распределения удобрений этими рабочими органами невозможно. Средняя неравномерность распределения минеральных удобрений в условиях Республики Беларусь составляет 35–40 %, достигая нередко 70 % и более по причине влияния многих объективных и субъективных факторов, в том числе отсутствия в стране специальных стандов для настройки этих машин. В связи с этим квалифицированных настроек этих машин в большинстве хозяйств не проводится. Также тщательно настроенные разбрасыватели ряда ведущих зарубежных фирм не обеспечивают качественное внесение удобрений даже в идеальных условиях. Таким образом, для условий республики с крупными коллективными хозяйствами центробежные разбрасыватели не могут быть признаны экономически и экологически состоятельными и перспективными. С их помощью нельзя решить проблему качественного внесения, а следовательно, эффективного применения минеральных удобрений и получить дополнительно упомянутые выше 500 тыс. тонн зерна в год. Поэтому усилия инженеров необходимо направить на создание машин, обеспечивающих высокое качество внесения удобрений, не зависящих от многих природных и человеческих факторов. С этой точки зрения, на наш взгляд, наибольшего внимания заслуживают штанговые машины с использованием пневматических систем группового дозирования.

Предпочтительнее в плане повышения эффективности удобрений и снижения потерь элементов питания представляется их внутривпочвенное локальное размещение на определенной глубине за один проход машины.

Основными способами локального внесения удобрений являются: основной (до посева или при посеве), стартовый (при посеве) и подкормка (дробно-дифференцированное внесение азотных удобрений во время вегетации растений). Преимущество припосевного внесения перед допосевным заключается в строгом размещении лент удобрений вдоль посевных рядков растений, но не вместе с семенами. При этом улучшаются условия минерального питания и роста растений в начальный период их развития, а также такое внесение удобрений

обеспечивает высокую их окупаемость прибавкой урожая. Прибавки урожая зерновых культур при рядковом внесении фосфорных удобрений с учетом действия и последействия составляют обычно 1,5–7,0 ц/га, а окупаемость 1 кг д. в. зерном достигает 10–20 кг.

Внутрипочвенное внесение основной дозы минеральных удобрений обеспечивает сельскохозяйственные культуры питательными элементами на весь вегетационный период. Удобрения вносятся с небольшой почвенной прослойкой от семян или растений с одной или двух сторон рядка, что позволяет избежать отрицательного влияния повышенной концентрации солей на всхожесть и прорастание семян. С учетом последнего основное минеральное удобрение, применяемое в более высоких дозах, требует и большей пространственной изоляции от семян. Чаще всего для этого используется ленточный способ. Ленты удобрений различной ширины располагаются глубже заделки семян на 5 см и более и в сторону от рядка на 5–7 см и более. При отсутствии техники для строго ориентированного размещения семян и лент удобрений в почве хорошие результаты дает и допосевное ленточное внесение основного минерального удобрения обычными зерновыми сеялками или культиваторами-растениепитателями.

Анализ показывает, что спектр способов локального размещения удобрений в почве значительно шире и разнообразнее, чем при разбросном внесении. Имеется реальная возможность для маневрирования применения удобрений по времени внесения, оптимального размещения удобрений по глубине в почве относительно корневой системы растений, снижения потери туков и повышения эффективности их применения.

Возможность совмещения операций по локальному внесению удобрений с основной, предпосевной и междурядной обработкой почвы, а также посевом и посадкой является не только важным резервом экономии ресурсов, но и средством уменьшения избыточного уплотнения почвы.

Учитывая высокую вариабельность параметров плодородия, достигающую 100 % и более, значительно повысить эффективность удобрений и снизить уровень загрязнения окружающей среды можно посредством дифференцированного их внесения. Дифференцированное внесение обладает комплексом качественно новых признаков, определяющих: повышение окупаемости удобрений; исключение загрязнения и разрушения природной среды; более рациональное использование природных ресурсов при получении запланированной урожайности.

### 3. ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Современная концепция земледелия и в равной мере механизация сельскохозяйственного производства во всех странах мира базируется на принципах уравнительной системы землепользования. Это означает, что все воздействия на систему почва – растение в виде дозы вносимых удобрений основываются на усредненных показателях, несмотря на то, что содержание питательных элементов в почве меняется в широких пределах и достигает в ряде случаев 100 % и более. Дозу внесения удобрений определяют на основе усредненных показателей для всего поля. Применение химических средств борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, несмотря на очаговый характер распределения их по полю, осуществляется при максимальной норме. Такая система ведения хозяйства приводит: к экспоненциальному росту затрат невозобновимой энергии на каждую дополнительную единицу продукции; к всевозрастающему масштабу загрязнения и разрушения окружающей среды; к высокой вариабельности урожайности и качества получаемой продукции от факторов риска, прежде всего, капризов погоды.

Выполненные в Беларуси и за рубежом исследования показали, что плодородие почвы и другие ее показатели меняются в широких пределах в рамках одного поля. Особенно это относится к содержанию питательных веществ и элементов в почве, варьирование которого достигает 60–90 %.

Отечественным и международным опытом доказано, что рациональной альтернативой концепции уравнительного землепользования может быть только качественно новая стратегия интенсификации сельскохозяйственного производства, базирующаяся на дифференцированном воздействии на систему почва – растение в глобальной системе позиционирования, т. е. в координатной системе земледелия. Такая концепция имеет социальную направленность и характеризуется комплексом качественно новых признаков, предопределяющих:

- снижение расхода техногенной энергии на каждую дополнительную единицу продукции;
- исключение загрязнения и разрушения природной среды;
- полную реализацию генетического потенциала новых сортов и гибридов при получении запрограммированных урожаев;

- уменьшение зависимости продуктивности и экологической устойчивости агроэкосистем от погодных факторов;
- получение высококачественных и безопасных продуктов питания и сырья для промышленности.

Основными элементами точного земледелия являются:

- глобальная навигационная спутниковая система (в России это ГЛОНАСС, в США – GPS), включающая приемник дифференциальных сигналов со спутников;
- информация о пространственной и временной вариабельности параметров плодородия (N, P, K, pH, гумус и др.);
- географическая информационная система (ГИС);
- высокоадаптивные дозирующие и распределяющие рабочие органы машин для дифференцированного воздействия на систему почва – растение – окружающая среда;
- система контроля и управления рабочими органами.

Система координатного земледелия базируется на трех технологических элементах:

1. Определение координат агрегата на поле. Это может быть осуществлено наземными или космическими системами позиционирования. Есть основания считать, что в ближайшем времени будет преобладать дифференцированная глобальная система позиционирования (DGPS).

2. Автоматизированный сбор, хранение и обработка информации о состоянии почвы, растений, визуализация этой информации в виде электронных карт (GIS), принятие оптимальных управленческих решений.

3. Машины, системы контроля и управления технологическим процессом дифференцированного воздействия на систему почва – растение в принятой системе позиционирования.

В настоящее время в ряде зарубежных стран, таких как США, Германия, Израиль, ведутся работы по созданию технологий и технических средств для дифференцированного поверхностного и локального внесения минеральных и органических удобрений, мелиорантов в соответствии с оптимальной программой их применения. Исследуются возможности новой технологии, в которой средства химизации применяются на сельскохозяйственном поле в строго нормированных дозах и только там, где они необходимы.

Технология дифференцированного внесения удобрений предполагает широкое использование компьютеров, программных средств – геоинформационных систем, данных дистанционного зондирования.

Преимущество компьютерной технологии состоит в том, что она позволяет вести агропроизводство на экологически чистой основе, ориентированное на экономию удобрений, получение запрограммированных урожаев и предохранение окружающей среды от загрязнения.

Избирательная защита растений, дробное внесение азотных удобрений обеспечивают более высокую экономическую эффективность. Дифференцированное внесение удобрений с учетом плодородия отдельных участков поля не предполагает выравнивания пестроты плодородия всего поля, а направлено на более эффективное использование удобрений.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что точное земледелие является одним из базовых элементов ресурсосберегающей технологии. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды. Иначе говоря, для получения с поля (элементарного участка) максимального количества качественной и наиболее дешевой продукции для всех растений этого участка создаются одинаковые условия роста и развития без нарушения норм экологической безопасности.

Можно предположить, что развитие ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве позволит отрасли выйти на качественно новый уровень производства, который при приоритетной поддержке государством сельского хозяйства даст возможность сельскохозяйственным товаропроизводителям конкурировать с иностранными предприятиями.

#### **4. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Дифференцированное внесение минеральных удобрений, химических мелиорантов и пестицидов в настоящее время является ключевым элементом в системе точного земледелия. Точное земледелие – это управление продуктивностью сельскохозяйственных культур с учетом внутривидовой вариативности среды обитания растений и обеспечение оптимальных условий для каждого квадратного метра поля. Цель дифференцированного внесения минеральных удобрений – выровнять плодородие почв, создать максимально одинаковые условия для произрастания тех или иных сельскохозяйственных культур, что даст большой и разнообразный эффект, прежде всего – получение макси-

мальной прибыли, и осуществить воспроизводство почвенного плодородия. «Нулевая» пестрота почв создала бы условия, при которых свела к минимуму возможные риски выращивания сельскохозяйственных культур, обеспечила бы получение выровненного стеблестоя, а следовательно, повышение урожайности, снижение потерь при уборке и послеуборочной доработке продукции. Кроме того, это способствовало бы существенному увеличению производительности комбайнов, так как появилась бы возможность осуществить более высокий срез стеблей зерновых культур, что уменьшило бы объем массы, поступающей в молотилку, снизило расход топлива. При этом сократились бы сроки уборки зерновых культур, что очень важно для Беларуси.

Практическим путем было установлено, что точное внесение минеральных удобрений посредством применения машин, используемых в настоящее время, не является таким эффективным, как оно обосновано в теории. Ко всему прочему такие элементы систем точного земледелия, как составление электронных карт, спутниковое зондирование почвы и химический анализ почвы на содержание в ней питательных элементов, являются крайне материально затратными и остаются довольно сложными процедурами в плане технической реализации для большинства предприятий. Это подталкивает нас к рассмотрению иного подхода по качественному, а главное, действительно точному внесению гранулированных минеральных удобрений дифференцированным методом в рамках современных систем точного земледелия.

Учитывая недостатки систем точного земледелия, имеющиеся в настоящее время, мы предлагаем иной подход по внесению минеральных гранулированных удобрений дифференцированным способом с использованием пневматических систем группового дозирования, с возможностью определения на ширине 0,75 м основных питательных элементов в почве с использованием сенсорных датчиков.

После того как на основе спутниковых и лабораторных данных составляется точная карта поля с указанием характеристик каждого его участка, фермер получает возможность более рационально распределять ресурсы между ними. Таким образом, удастся избежать перерасхода ресурсов там, где они прежде использовались в избытке, и повысить продуктивность тех участков поля, которые ранее недополучали при внесении удобрений, вспашке или поливе. При достаточно большом масштабе такой подход позволяет снизить расходы на производство единицы продукции и повысить отдачу с каждого квадратного метра земли. Кроме того, эта технология открывает дополнительные

возможности для повышения качества продукции и в глобальном масштабе снижает нагрузку на окружающую среду. Система точного земледелия – это не строго определенный набор методик и технических средств, а, скорее, общая концепция, основанная на использовании технологий спутникового позиционирования (GPS), геоинформационных систем (GIS), точного картографирования полей и др.

В основе всей системы точного земледелия лежит использование точных карт полей со всеми их характеристиками. Разумеется, для каждого поля существуют кадастровые карты, определяющие его границы на местности. Однако эти карты практически не дают никакой полезной информации в рамках производственного процесса агропредприятия.

Пример использования систем точного земледелия можно наблюдать на приведенной схеме (рис. 2).

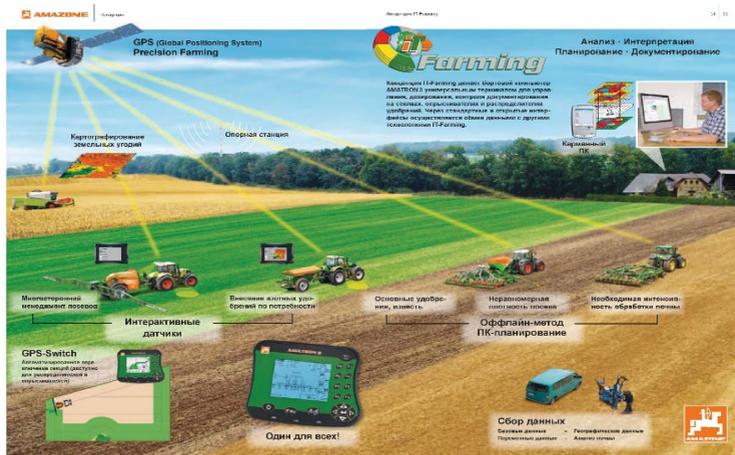


Рис. 2. Использование систем точного земледелия в сельском хозяйстве

Помимо границ участков нужны точные данные о химическом составе почвы, уровне ее влажности (в том числе глубине подземных вод), количестве получаемой солнечной радиации, угле наклона относительно горизонта, преобладающих ветрах, наличии по близости значимых природных и других объектов (лесов, водоемов, промышленных предприятий, жилых домов, дорог и т. п.). Чем больше факторов учтено и чем подробнее карта, тем точнее можно использовать спут-

никовые и компьютерные технологии точного земледелия, тем адекватнее и оперативнее можно корректировать производственный процесс.

Составление карт осуществляется различными методами. Это и взятие проб грунта с дальнейшим проведением лабораторных анализов, и получение информации со спутников, и общий научный анализ каждого участка. Разумеется, карты составляются не на бумаге, а в электронном виде с помощью специальных компьютерных программ, которые интегрируют их с остальным оборудованием.

На основе электронных карт создаются точные инструкции по количеству удобрений, семян, воды, которые нужно внести на каждый участок поля. Эти инструкции загружаются в компьютеризированную сельхозтехнику, выходящую в поле. Далее машина обрабатывает поле с минимальным участием человека, который просто контролирует правильность исполнения этих инструкций. Ведомая с помощью спутниковой навигации машина, согласно инструкциям, сама регулирует количество вносимых удобрений и семян на каждом участке поля. При этом исключаются просветы и нахлесты между обработанными участками.

Использование технологий точного земледелия имеет следующие преимущества:

- оптимизация (минимизация) затрат сырья и материалов – топлива, семян, удобрений, воды и т. д.;
- повышение урожайности используемых полей;
- улучшение качества получаемой продукции;
- повышение качественных характеристик используемой земли;
- снижение негативного влияния на окружающую среду.

Однако на пути внедрения данных технологий стоит несколько препятствий, которые с определенной долей условности можно назвать недостатками. Особенно актуальны эти проблемы в рамках точного земледелия:

- дороговизна. На внедрение этих технологий нужны немалые средства, которых у большинства сельхозпредприятий не хватает. Даже с учетом хорошей окупаемости не каждое хозяйство может позволить себе технологии точного земледелия;
- техническая сложность. По сути, речь идет о современных ультра-сложных компьютерных технологиях. В сельской местности не так-то просто найти специалистов, способных не то что внедрить, а хотя бы обслуживать девайсы системы точного земледелия;

- отсутствие практического опыта. Почти все технологии точного земледелия являются совершенно новыми. К тому же они быстро меняются и совершенствуются. Столь быстрый технический прогресс означает, что нет достаточной практики их применения, а следовательно, невозможно адекватно оценить эффективность их применения в тех или иных условиях.

И все же эти недостатки нельзя считать существенной причиной для отказа от использования точного земледелия в принципе. Очевидно, что за ним будущее, и те предприятия, которые раньше освоят данные технологии, получат значительные преимущества в конкурентной борьбе за рынки сбыта своей продукции.

Существуют проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении минеральных удобрений. Одной из главных проблем на данный момент является неравномерное распределение минеральных удобрений ввиду неполной осведомленности о содержании различных питательных веществах непосредственно в почве.

Поэтому мы предлагаем принципиально иной подход по внесению минеральных гранулированных удобрений дифференцированным способом с использованием пневматических систем группового дозирования, с возможностью определения на ширине 0,75 м основных питательных элементов в почве с использованием сенсорных датчиков. Проведенные ранее исследования пневматической системы группового дозирования на высеве суперфосфата от 80 до 1200 кг/га показали высокую эффективность такой системы, обеспечившей равномерность посева от 2 до 5 %.

## **5. СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ОТБОРА ПОЧВЕННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОМ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ**

Отбор почвенных проб при координатном земледелии для анализа почвы с целью дифференцированного применения удобрений – довольно сложная операция. В настоящее время отбор почвенных проб является довольно дорогостоящим мероприятием, особенно в рамках дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений, так как для повышения точности при составлении электронных карт полей на наличие в почве питательных веществ требуется проведение многократного отбора проб почвы, что значительно повышает

стоимость таких операций. Один из путей разрешения этой проблемы мы видим в тщательном анализе существующих способов отбора почвенных проб при дифференцированном способе внесения удобрений.

Программа применения удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур с учетом плодородия отдельных участков поля начинается с оценки содержания питательных веществ в почве. Рекомендации по применению удобрений основываются на ожидаемой отзывчивости растений на элементы питания, находящиеся в почве. Чем на меньшие участки будет разбито поле, тем более точной будет информация о содержании питательных элементов на отдельных участках поля.

Фирма «Ag-Chem» рекомендует своим клиентам отбирать пробы по клеткам площадью 2,5 акра (1 акр = 4046,86 м<sup>2</sup>) или меньше. Предпочтение отдается клеткам размером 1 акр. Это рекомендуется при отборе проб с полей, на которых производится полив или которые получают 25 дюймов (1 дюйм = 2,54 см) осадков.

Почва обеспечивает полностью или частично растения необходимыми питательными элементами, а также водой, воздухом, теплом в зависимости от ее механического состава. Поэтому фирма затрачивает значительные усилия на отбор проб и их лабораторный анализ для получения необходимой информации.

При уравнительном земледелии требуется лишь несколько проб, необходимых для определения средних значений показателей для всего поля. Поле затем получает среднюю дозу того или иного питательного элемента. При дифференцированном внесении необходимо знать, как меняется плодородие почвы поля от одного участка к другому, и это изменение должно быть представлено в виде электронной карты. Получение информации о поле посредством отбора проб является основой для дифференцированного выполнения основных операций.

Исторически сложилось так, что пробы отбирались с целью определения средних значений показателей для поля. Обычно используют два метода отбора проб. В соответствии с первым методом отбирают несколько образцов почвы по всему полю в случайном порядке. Почвенные образцы смешивают и рассматривают как одну пробу. По второму методу поле разбивают на несколько участков (клеток). Образцы почвы отбирают, идя по клетке зигзагом. Образцы смешивают и получают одну пробу для каждой ячейки. В результате получают количество проб, равное количеству участков. После лабораторного

анализа данные по участкам усредняют и получают одно значение для всего поля.

В результате такого отбора проб и расчета по ним дозы внесения удобрений некоторые участки поля получают больше удобрений, чем это необходимо, другие – меньше. Это приводит к снижению эффективности удобрений и к увеличению загрязнения окружающей среды.

Некоторые консультанты рекомендуют своим клиентам вносить удобрения по отдельным участкам (клеткам) и называют такой способ внесения удобрений «дифференцированное внесение». Такой подход неприемлем для полей с большой неравномерностью распределения питательных элементов в пахотном слое.

Некоторые рекомендуют отбирать пробы в соответствии с типом почвы и его изменением по полю. Учитывая, что минеральные и органические удобрения вносят неравномерно независимо от типа почвы, все это приводит к тому, что неравномерность распределения питательных элементов в почве не зависит практически от типа почвы.

Почвенный покров можно рассматривать как непрерывный слой, покрывающий поле. Необходимо использовать такой способ отбора проб, при котором можно получить объективную информацию обо всем слое почвы. На первом этапе поле разбивают на клетки (ячейки, блоки). Далее определяют места взятия проб в ячейке. До того как появилась возможность использовать GPS, пробы отбирали в центре ячейки. Обычно такой способ отбора называют «сеточный метод» (grid или grid point sampling). Формальное название этого метода «стратифицированный метод».

По мере развития Глобальной позиционной системы (ГПС) можно определять места взятия проб без привязки к рядкам растений или замера расстояний на поле. При наличии ГПС и соответствующего программного обеспечения рекомендуется использовать систематический нелинейный метод взятия проб. Этот метод представляет собой комбинацию систематического метода со случайным методом отбора проб.

Затраты на анализ почвы, применение удобрений и обработку данных напрямую связаны с уровнем дифференцированности внесения фосфорных (P) и калийных (K) удобрений. Чтобы оценить эффективность внесения удобрений, эти затраты должны быть вычтены из прибыли, обусловленной дифференцированным внесением.

Часть приведенных в табл. 1 затрат получена зарубежными авторами, а часть получена от дилеров, продающих удобрения и машины для их внесения. Труд работающих был оценен в 25 долл. за час работы.

Стоимость анализа одной пробы – 6 долл. Необходимо помнить, что расходы, связанные с ежегодным внесением твердых минеральных удобрений, практически постоянны и включают дополнительные затраты, обусловленные дифференцированным внесением, по сравнению с внесением одной дозы. Затраты, связанные с дифференцированным внесением Р и К, резко увеличиваются при размере ячеек сетки меньше 200 футов (1 фут = 0,3048 м<sup>2</sup>).

Таблица 1. Затраты на взятие проб, связанные с дифференцированным внесением удобрений

Отбор проб	Размеры ячеек сетки			
	450 футов (5 акров)	300 футов (2 акра)	200 футов (1 акр)	100 футов (0,25 акра)
долл/акр				
2 ч (20 проб)	1,70	–	–	–
5,7 ч (48 проб)	–	4,29	–	–
10,9 ч (106 проб)	–	–	9,09	–
36 ч (436 проб)	–	–	–	35,16
Обработка данных и нанесение на карту	2,00	2,00	2,00	2,00
Внесение удобрений (затраты, связанные с дополнительным изменением дозы)	1,50	1,50	1,50	1,50
Общие затраты	5,20	7,79	12,59	38,66

Примечание. Площадь поля – 100 акров. Оплата труда – 25 долл/ч. Стоимость анализа почвенного образца – 6 долл.

Сеточный метод взятия проб более дорогой по сравнению с традиционным методом. Проведенные в университете штата Висконсин исследования сеточного метода взятия почвенных образцов показали, что точность получаемой карты зависит от способа взятия проб и от их плотности. Зарубежные авторы считают, что дорогостоящий сеточный метод взятия проб необходимо осуществлять только один раз, если предполагается получить всю остальную информацию о состоянии поля с помощью Глобальной позиционной системы. В дальнейшем понадобится проводить дополнительный анализ в случае большой пестроты плодородия и невозможности ограничиться только функциями отзывчивости для оценки почв.

В работе не рассмотрены затраты, связанные с возможными нарушениями дозы при внесении минеральных удобрений, обусловленными ошибками при составлении карты пестроты плодородия. Есть свидетельства, когда из-за ошибок при картографировании участки с дефицитом питательных элементов были признаны хорошими. По этой причине были потери урожайности и прибыли. При расчетах эффективности дифференцированного внесения удобрений необходимо также учитывать точность получаемых для этой цели карт. Затраты на взятие проб и их анализ растут с уменьшением размера ячеек сетки (рис. 3).

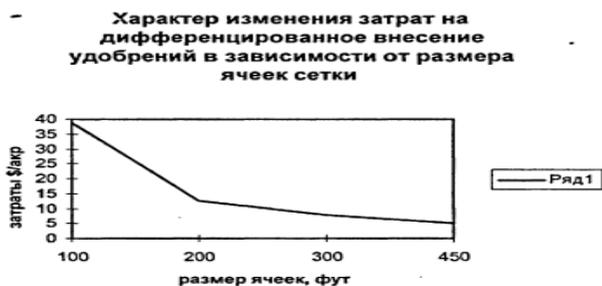


Рис. 3. Затраты, связанные с дифференцированным внесением Р и К

Фирма «Ag-Chem Equipment Co., Inc.» активно занимается производством и распространением оборудования для дифференцированного внесения минеральных удобрений, химических средств защиты растений. Для систематического отбора проб с жесткой привязкой к конкретному полю с использованием системы позиционирования GPS фирма разработала отборщик проб «GridSampler» и математическое обеспечение для определения изменчивости элементов питания по полю, совместимое с программным продуктом SGIS.

С помощью программного продукта SGIS информация, полученная в результате обработки почвенных образцов и другой информации, быстро преобразуется в понятные и визуальные образы, которые легко записываются на дискету.

Для каждого поля разрабатывается свой план применения удобрений, который аккумулирует всю имеющуюся у фермера информацию о поле и полученную из всех источников. В нем также учтены весь опыт, цели и предпочтения фермера. Планируемая урожайность долж-

на быть реальной и экономически выгодной, а также прогрессивной. План должен соответствовать всем требованиям к защите окружающей среды от загрязнения.

Вышеописанные методы агрохимического обследования полей с целью снижения затрат на их проведение могут быть использованы лишь на очень больших полях с плавным изменением неоднородности. Но в условиях большой пестроты содержания питательных элементов, где их концентрация резко отличается друг от друга каждые 3–5 м, а вариабельность показателей достигает 250–300 % и более, использование таких методов не обеспечит настоящую картину содержания питательных элементов в почве. Использование такого подхода для дифференцированного внесения удобрений не приведет к сглаживанию пестроты содержания питательных элементов на элементарных участках поля, а соответственно, и эффективность этого метода будет низкой. Для решения данной проблемы необходим принципиально новый подход. Такой подход стремится устранить ограничения традиционных методов и сфокусироваться на учете сложных и динамических характеристик почвенных свойств, климатических условий и уровня урожайности. Он включает применение передовых инструментов, таких как сенсоры, дроны, геоинформационные системы и аналитические алгоритмы, которые позволяют более точно и всесторонне оценивать состояние почвы и ее потребности в питательных элементах. Это позволяет сделать более точные прогнозы и оптимизировать стратегии внесения удобрений на основе собранных данных и анализа множества факторов, влияющих на урожайность.

Ключевой целью такого подхода является достижение более эффективного использования удобрений и оптимизация агропроизводства в целом, что способствует более устойчивому, экологически безопасному и конкурентоспособному сельскому хозяйству. Этот подход позволяет сельскому хозяйству более эффективно управлять ресурсами, снижая излишние затраты на удобрения и предотвращая загрязнение окружающей среды химическими элементами. В результате сельское хозяйство становится более устойчивым, способным лучше адаптироваться к изменениям климата и экономическим факторам, обеспечивая стабильное и устойчивое снабжение продовольствием населения. Кроме того, использование передовых методов ведения сельского хозяйства делает его более конкурентоспособным на рынке, что способствует увеличению экономической выгоды для сельскохозяйственных предприятий и обеспечивает продовольственную безопасность.

## 6. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений применяют рассеиватели (разбрасыватели) (рис. 4–10).



Рис. 4. Разбрасыватель МТТ-4У



Рис. 5. Разбрасыватель РУ-3000



Рис. 6. Рассеиватель удобрений PY-7000



Рис. 7. Агрегат для внесения удобрений АВУ-6

Удобрения, попадая на диск и его лопатки, приобретают определенную скорость и рассеиваются по полю.

Недостатком такого способа распределения минеральных удобрений является высокая неравномерность распределения по ширине захвата (особенно однодисковых машин).

Также существуют штанговые агрегаты для внесения твердых минеральных удобрений.



Рис. 8. Рассеиватель удобрений штанговый РШУ-12



Рис. 9. Рассеиватель удобрений штанговый МШВУ-18



Рис. 10. Пневматический штанговый рассеиватель удобрений СУ-12-01

## **7. К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ И МАШИН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Современное сельское хозяйство работает по тем же принципам, что и любой бизнес – постоянное стремление снижать себестоимость единицы продукции и повышать производительность в расчете на единицу затраченных ресурсов. Точное земледелие – это система управления продуктивностью посевов, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий. Вместо того чтобы пахать, сеять, вносить удобрения «на глаз», как это делалось на протяжении всей предыдущей истории сельского хозяйства, в настоящее время фермеры могут точно рассчитать количество семян, удобрений и других ресурсов для каждого участка поля с точностью до метра. Однако применение систем точного земледелия в рамках дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений на данный момент является материально затратной процедурой.

Поэтому стоит пересмотреть подход к способам внесения минеральных удобрений и использовать концептуально новые методы для более качественного и менее затратного проведения такого рода сельскохозяйственных операций.

При решении задач оптимизации параметров дифференцированного внесения удобрений (доза внесения, количество участков, на которое разбивается поле, качество распределения питательных элементов) особое внимание должно быть уделено выбору и обоснованию допущений и ограничений.

Одной из основных задач, которую приходится решать при дифференцированном воздействии на поле, является определение степени его квантования (величина учетной площадки поля). Для оценки эффективности дифференцированного применения удобрений необходимо всесторонне изучить все положительные стороны этого способа в стоимостном выражении, а также все издержки, связанные с усложнением технологического процесса и технических средств.

Эффективность дифференцированного применения удобрений в первую очередь зависит от уровня дифференциации внесения, т. е. от величины участков, на которые разбивается поле, как при диагностике поля, так и при внесении удобрений.

Динамику содержания питательных веществ и внесения дополнительных на примере калия можно наблюдать на схеме (рис. 11).

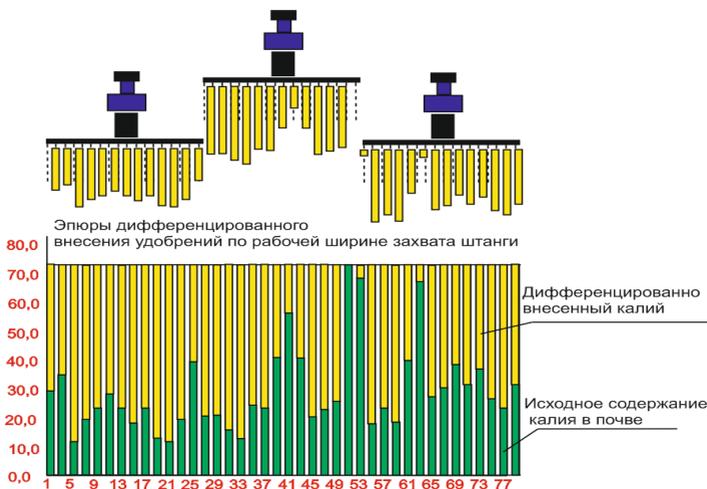


Рис. 11. Схема выравненного содержания калия в почве

Чем меньше участки, на которые вносятся удобрения с заданной дозой, тем выше затраты на диагностику поля и технические средства для выполнения технологического процесса. Затраты на дифференцированное внесение удобрений принято считать также постоянными и не зависящими от количества управляющих сигналов на дозирующее устройство. Такое допущение обосновано тем, что конструкция полевой машины-удобрителя для дифференцированного внесения удобрений имеет оборудование, обеспечивающее выполнение технологического процесса на всем диапазоне рационального изменения доз. При планировании сельскохозяйственных работ в соответствии с новой концепцией важное значение имеет информация о пространственном распределении радиационной температуры ландшафта, которая служит обобщенной характеристикой состояния биогеоценозов и агроэкосистем. Рельеф является одним из основных компонентов ландшафта и предопределяет миграцию и аккумуляцию минеральных и органических веществ, увлажнение и освещенность участков поля, интенсивность процессов эрозии и характеристики почвенного и растительного покрова.

В УО БГСХА проводится поиск альтернативных направлений, технических решений для осуществления дифференцированного внесения удобрений. Одним из таких направлений является разработка автома-

тизированной удобренческой машины, которая бы осуществляла непосредственный экспресс-анализ наличия элемента (элементов) питания в почве по пути своего следования и соответственно регулировала бы дозу внесения того или иного вида удобрений.

Такой подход к решению проблемы дифференцированного внесения удобрений может быть вполне осуществим в условиях Республики Беларусь. Функциональная и структурная схемы такой машины уже разработаны.

Наиболее трудной технической задачей в этом деле является разработка экспресс-датчиков, определяющих наличие доступных элементов питания в почве. Хотя обзор и анализ существующих способов экспресс-определения различных элементов питания и приборов, предназначенных для этих целей, позволяет сделать вывод о реальности разработки экспресс-датчиков применительно к мобильной полевой машине. Более того, по заявлению ведущих ученых-физиков из НИИ прикладных физических проблем им. Савченко, это задача вполне разрешима.

Оценочным параметром системы является количество вносимых элементов питания на соответствующую координатную учетную площадку в реальном масштабе времени, которые в сочетании с элементами питания, имеющимися в почве, составляют необходимую дозу для получения запрограммированной урожайности на всем обрабатываемом поле. Высокого качества работы машины-удобрителя с автоматизированным дозированием можно достичь только при внесении удобрений с хорошим гранулированным составом. Машины-удобрители с автоматизированным дозированием должны устойчиво работать при внесении удобрений в пределах 80–500 кг/га.

Стоит отметить роль ранее упомянутых датчиков в системе дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений на примере машин и агрегатов, способных работать в on-line режиме.

Режим реального времени (on-line) предполагает предварительное определение агротребований на выполнение операции, а доза удобрений определяется непосредственно во время выполнения операции. Агротребования в данном случае – это количественная зависимость дозы удобрения от показаний датчика, установленного на сельскохозяйственной технике, выполняющей операцию. Результаты выполнения операции (дозы и координаты, обработанная площадь, время выполнения и фамилия исполнителя) записываются на чип-карту. В настоящее время известен оптический азотный сенсор «Hydro-N-

Sensor». Это оптический прибор, позволяющий оптимизировать внесение минеральных удобрений при азотных подкормках растений. N-сенсор устанавливается на крыше трактора и имеет четыре оптических датчика по углам, обеспечивая обзор с четырех сторон. Эти датчики улавливают отраженный свет от листовой поверхности в красном и инфракрасном диапазоне света. Данные анализируются каждую секунду, и по ним определяется содержание хлорофилла в листьях и биомасса.

Из используемых на сегодняшний день систем, подобных описанным выше, можно выделить «Cam-Pilot» и «Crop-Meter» (рис. 12).

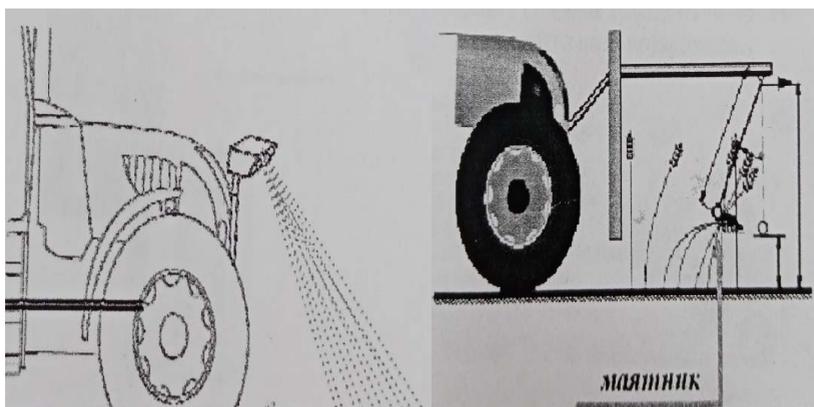


Рис. 12. Камера сканирования «Cam-Pilot» (слева), механическая система «Стор-Meter» (справа)

Пятый датчик направлен вверх, в небо. Он измеряет интенсивность света, позволяя системе корректировать данные в соответствии с различными условиями освещенности, что дает возможность проводить работу и в пасмурную погоду. Информация от датчиков передается на бортовой компьютер «Hydro», который соединен кабелем с бортовым компьютером «Amatron 2A», который, в свою очередь, управляет дозирующей системой распределителя минеральных удобрений или опрыскивателя «Amazone».

Важным и определяющим элементом в работе N-сенсора являются калибровочные таблицы. Они используются для калибровки N-сенсора на поле. N-тестер, так же как и N-сенсор, позволяет определять содержание хлорофилла в листьях растения. Калибровочные таблицы спе-

циально разработаны и опытным путем проверены для каждой культуры и для каждого сорта. Они приводят в соответствие показания N-тестера, культуру и сорт растения, фенологическую фазу растения и дозу азота в действующем веществе, необходимую для растения. Разработка калибровочных таблиц для каждого сорта и для каждой фазы ведется при помощи портативного прибора N-тестера. Показания прибора записываются, и растения доставляются в лабораторию. Затем в лаборатории определяется необходимая доза азота для каждого растения. Результаты лабораторного анализа ставятся в соответствии с показаниями N-тестера. Таким образом, получается калибровочная таблица. При осуществлении азотной подкормки с помощью N-сенсора необходимо убедиться в достаточности биомассы для работы. Для этого включается N-сенсор и бортовой компьютер «Hydro». Если биомассы недостаточно (растения слишком маленькие), то работать нельзя. По калибровочной таблице определяется и доза азота. После определения дозы азота переходим в режим «калибровка» и вводим полученную дозу, затем проходим контрольный участок. Таким образом, бортовой компьютер согласовывает дозу, которую необходимо ввести на контрольном участке, и показатели, полученные с датчиков N-сенсора на этом участке при погоде на данный момент. Такую калибровку нужно проводить каждый раз выезжая на поле или при резкой смене погоды. Перед работой необходимо ввести в компьютер «Hydro» процентное содержание азота в удобрении, с которым предстоит работать. Компьютер пересчитает дозу в действующем веществе на туки и будет посылать корректирующий сигнал на контроллер.

Данная технология позволяет производить азотные подкормки, экономить удобрения, и помогает избегать передозировок, что позволяет уменьшить стоимость операции и повысить экологическую безопасность. Но главной, на наш взгляд, проблемой является повсеместное использование центробежных разбрасывателей в качестве основного способа для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений. Данные разбрасыватели составляют долю свыше 80 % во всем мире как основной способ внесения минеральных удобрений, но в то же время имеют и достаточно серьезные недостатки, связанные как с качеством внесения, что подразумевает высокую неравномерность, так и с загрязнением окружающей среды за счет внесения больших доз минеральных удобрений в почву. Кроме этого, в соответствии с законом минимума (лимитирующего фактора), причинами «нездорового» цвета растений в том или ином месте поля, помимо недо-

статка азотного питания, могут быть: недостаток калия или фосфора, низкое содержание гумуса или повышенная кислотность почвы (что снижает эффективность минеральных удобрений), отсутствие влаги или переувлажненная почва, очаговое повреждение растений вредителями или болезнью и т. д. Но машина все равно будет вносить на такие участки азотные удобрения, несмотря на их достаточность исходя из почвенной диагностики. Следовательно, такой способ ухода за растениями не может считаться перспективным и эффективным с точки зрения экономии ресурсов и точности выполнения самой этой операции, требующей вносить азотные удобрения в подкормку с равномерностью менее 10 %. Поэтому применение вышеописанной сложной технологии с использованием центробежных разбрасывателей не может быть рекомендовано для внесения азотных удобрений при уходе за растениями.

На данный момент известны также агрегаты для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений. Точность данных машин объясняется изготовителями использованием передовых технологий в области точного земледелия. К таким технологиям относятся: спутниковое зондирование почвы, составление электронных карт полей, активное внедрение навигационных систем. Однако на практике данные системы не способны обеспечить должную равномерность внесения минеральных удобрений и являются лишь модернизированными версиями своих «предков». На рис. 13 представлены современные машины для внесения твердых минеральных удобрений дифференцированным способом.



Рис. 13. Разбрасыватели минеральных удобрений фирмы KUNN

В данных разбрасывателях изменение нормы внесения удобрений происходит за счет двух регулировочных заслонок на всю ширину разбрасывания по предварительно составленным электронным картам полей. Даже при идеальном поперечном равномерном распределении удобрений на всю ширину захвата агрегатов они не способны выровнять пестроту содержания доступных растению питательных веществ в почве, которая изменяется каждые 1–3 м в поперечном и продольном направлениях. Следовательно, эффективность дифференцированного внесения удобрений в данном случае будет очень низкой. Кроме этого данные агрегаты предусматривают большое количество регулировок, что затрагивает роль человеческого фактора в процессе настройки данных разбрасывателей.

Чтобы правильно вносить удобрение, его нужно идентифицировать, поскольку для удобрений неизвестного происхождения, которые не указаны в таблицах внесения, существует руководство по идентификации, в котором всевозможные удобрения классифицированы по категориям, что помогает распознать препарат и определить оптимальные настройки. Чтобы быть уверенным в настройках и точности разбрасывания, что особенно важно для удобрений низкого качества или неизвестного происхождения, необходимо обязательно проводить калибровку для контроля поперечного разбрасывателя. Исходя из перечисленных выше недостатков «непревзойденная точность разбрасывания», представляемая авторами этих разбрасывателей, является довольно сомнительной и требует большого количества кропотливой и отнимающей время работы на настройку, регулировку и калибровку данных агрегатов, не способных качественно выполнить операцию дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений.

Исходя из вышеизложенных фактов можно сделать вывод о том, что дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений путем применения центробежных разбрасывателей является устаревшей и исчерпавшей практически все возможности по ее улучшению технологией. Несмотря на это, использование данной методики продолжается во всем мире. Это обусловлено отсутствием на данный момент достойных способов и машин, которые были бы разработаны и внедрены в массовое производство для повсеместного использования на сельскохозяйственных предприятиях. Этот факт подчеркивает необходимость дальнейших исследований и инноваций в области удобрения и распределения удобрений, чтобы повысить эффективность сельского хозяйства и снизить его негативное воздействие на окружающую среду.

## **8. К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ВЫСЕВАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Основным показателем функционирования средств механизированного внесения минеральных удобрений является равномерность распределения питательных веществ по поверхности поля. Если при внесении однокомпонентных или сложных удобрений качество функционирования машин оценивается по равномерности распределения частиц, то при внесении туковых смесей качественные показатели зависят от распределения по поверхности поля частиц каждого из компонентов смеси. Отклонение дозы и равномерности распределения компонентов от агротехнической нормы приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур или к накоплению в продуктах питания вредных веществ. Некачественное выполнение технологического процесса следует рассматривать как технологический брак или отказ системы. Важным условием создания точных технологий, кроме отмеченного, является разработка методов для объективной оценки обеспеченности почв питательными элементами и устройств для контроля и управления технологическими процессами. Также важным вопросом является выбор пневматической системы для равномерного внесения минеральных удобрений дифференцированным способом.

В пневматических сеялках для надежного транспортирования гранулированных удобрений скорость воздушного потока должна быть в пределах 20–26 м/с. Гранулы, перемещаясь в воздушном потоке со скоростью 5–8 м/с, интенсивно разрушаются, что отрицательно влияет не только на эффективность применения удобрений, но и на экологию. Образовавшаяся при истирании пыль вместе с отходящим воздухом поднимается в атмосферу. Ширина захвата пневматических сеялок непостоянна, а неравномерность распределения удобрений по полю достигает 20–30 %. Анализ литературы показывает, что удобрения, применяемые для приготовления туковых смесей, содержат от 4,7 до 83,1 % частиц размером 1–3 мм. Для выделения частиц требуемых размерных групп необходимо введение в технологический процесс дополнительной операции и может быть оправдано при небольших объемах работ. Частицы удобрений, непригодные к смешиванию, необходимо будет измельчать или вносить без смешивания. Кроме того, тукосмесь, приготовленная из частиц с заданными размерами,

после взаимодействия с рабочими органами машин изменит свои гранулометрические характеристики (табл. 2).

Таблица 2. Гранулометрический состав минеральных удобрений, %

Удобрение	Размер фракции, мм							
	>7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25<
Суперфосфат порошковидный	6,1	6,2	10,6	8,7	9,8	18,1	21,0	20,5
Гранулированный двойной	–	2,0	38,0	36,0	16,0	5,0	2,0	1,0
Аммиачная селитра	–	0,8	3,7	11,5	50,0	34,0	–	–
Калийная соль	15,0	6,0	8,0	8,0	6,0	52,0	5,0	–
Хлористый калий	–	2,2	8,6	9,7	5,5	29,3	25,7	19,0

Необходимость измельчения туковых смесей обусловлена склонностью их к слеживанию. Причем процесс слеживания наиболее интенсивно протекает в первые 1–3 дня после приготовления тукосмеси. Выравнивание компонентов туковых смесей по гранулометрическим характеристикам не является достаточным условием качественного распределения частиц по поверхности поля, так как при взаимодействии частиц с рабочими поверхностями машин на процесс расслоения существенное влияние оказывают фрикционные, аэродинамические и другие характеристики.

Фрикционные параметры минеральных удобрений (табл. 3) и их смесей оцениваются коэффициентами внутреннего и внешнего трения.

Таблица 3. Коэффициенты трения минеральных удобрений и их смесей

Удобрения	Поверхность трения			
	Сталь	Дерево	Резина	Полиэтилен
Аммиачная селитра	0,66	0,73	0,69	0,49
Карбамид	0,64	0,54	0,81	0,31
Суперфосфат гранулированный	0,55	0,54	0,58	0,43
Двойной гранулированный	0,47	0,56	0,57	0,42
Хлористый калий	0,51	0,47	0,64	0,35
Аммофос	0,48	0,62	0,62	0,43
Нитрофоска	0,42	0,49	0,56	0,30
Двойная туковая смесь (суперфосфат + карбамид)	0,56	0,50	0,56	0,41
Тройная туковая смесь (суперфосфат + карбамид + калий в виде поташа)	0,58	0,63	0,65	0,49

Коэффициент внутреннего трения характеризует сопротивление материала сдвигу частиц относительно друг друга, а коэффициент внешнего трения – сопротивление сдвигу относительно поверхности рабочих органов машин. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что коэффициенты внешнего трения частиц удобрений одного вида варьируются в широких пределах. Коэффициент вариации углов трения составляет от 6,4 до 23,4 % для разных видов минеральных удобрений.

На работу аппаратов (центробежных, ленточных, пневматических и др.) оказывают влияние аэродинамические характеристики частиц. Результаты испытаний показывают, что коэффициенты парусности частиц минеральных удобрений изменяются в широких пределах – от 3,7 до 11 м/с. Следовательно, задача подбора компонентов для смесей минеральных удобрений с близкими коэффициентами парусности весьма затруднительна.

Возвращаясь к вопросу выбора пневматической системы для равномерного внесения гранулированных минеральных удобрений, можно выделить определенные моменты. Системы делятся на две разновидности: с горизонтальным и вертикальным распределением. Важным моментом в выборе пневматической системы является определение распределителя, удовлетворяющего заданным условиям, поэтому необходимо рассмотреть преимущества и недостатки как вертикальных, так и горизонтальных распределителей.

Основное преимущество вертикальных распределителей состоит в том, что они просты по устройству и надежны в эксплуатации. Надежность протекания процесса распределения обеспечивается тем, что посевной материал в вертикальном канале находится в состоянии пневмотранспорта, а это значительно упрощает процесс распределения посевного материала по отводящим патрубкам. Существенным недостатком таких распределительных устройств является высокая неравномерность распределения посевного материала по сошникам, особенно при работе на склонах.

Недостатком распределителей горизонтального типа является то, что они конструктивно ограничены в количестве обслуживаемых сошников (не более 12). Кроме того, они требуют обеспечения равномерного распределения по сечению потока материаловоздушной смеси на входе в распределитель. Для этого необходимо конструкцию распределителя дополнять непосредственно перед ним прямым горизонтальным участком, равным 8–10 диаметрам материалопровода, что состав-

ляет порядка 500–600 мм, или применять дополнительные выравнивающие устройства. В известных посевных машинах реализация такого конструктивного предложения нередко оказывается невозможна по компоновочным требованиям. Поэтому широкого распространения на посевных машинах данный тип распределителей не нашел.

Но, несмотря на недостатки распределителей данного типа, они имеют и интересующие нас преимущества. Преимуществами выбора такого типа распределения будут являться снижение риска разрушения гранул ввиду особой геометрии конструкции и более высокая точность внесения минеральных гранулированных удобрений, а также именно горизонтальный тип распределения обеспечивает лучшую точность при работе на различных уклонах. Данный тип распределителя содержит решающее преимущество в виде приспособленности к гранулометрическому составу практически всех минеральных удобрений, что дает ему широкий спектр возможностей при работе с различными видами минеральных удобрений без потери качества их внесения даже в широком диапазоне доз внесения от 80 до 1000 кг/га.

Исходя из вышеперечисленных характеристик можно сделать вывод о том, что использование пневматической системы для равномерного внесения минеральных удобрений дифференцированным способом с горизонтальным распределителем является наиболее предпочтительным и рациональным решением.

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

За исторически короткий срок человечество достигло колоссальных успехов в развитии научного-технического прогресса. Это значительно облегчило труд по обеспечению людей достаточным количеством продуктов питания, главной основы жизни на земле. Однако количество людей на планете Земля с ограниченными размерами стало быстро увеличиваться, что привело к недостаточности 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 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 низкую равномерность по ширине захвата, для дифференцированного внесения удобрений дискредитирует саму идею точного земледелия. Поэтому нами 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 агроотрасли.

На рост и развитие сельскохозяйственных культур влияет множество факторов, многие из которых на данный момент 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 позволило 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, обусловленного 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. 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. Однако следует понимать, что эффективность данной работы существенно зависит как от качества определения пестроты содержания 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. Но существующая методика определения пестроты почвенного плодородия посредством анализа почвенных проб, взятых с полей в ограниченном количестве, не позволяет определить реальную пестроту плодородия. А использование машин с центробежными разбрасывателями, которые обеспечивают низкую 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. 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 характеризуются простотой конструкции, высокой 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 принци-

пиально 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 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 удобрения. 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 белорусскими и российскими учеными установлено, что точное внесение минеральных удобрений путем применения центробежных разбрасывателей не является таким эффективным на практике, как оно обосновано в теории. Центробежные разбрасыватели на данный 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. В настоящее время спутниковое зондирование почвы на предмет содержания в ней различных питательных веществ не полностью удовлетворяет желаемым результатам ввиду низкой точности определения этих веществ и требует дополнительной доработки путем проведения различных химических анализов. Однако даже химический анализ почвы путем взятия проб не решает проблему качественного и равномерного внесения минеральных удобрений. При агрохимическом обследовании почв, согласно методическим указаниям, проделывают всего 30–35 уколов, т. е. отбирают 30–35 проб общей массой 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. Следовательно, такой объем данных не имеет никакого отношения к дифференцированному внесению удобрений. Проведенные исследования по размерам, контурности и уклонам полей в разных хозяйствах Республики Беларусь показали, что содержание основных элементов питания, кислотность почв, наличие гумуса практически по всем створам взятия проб значительно отличаются друг от друга каждые 3–5 м. 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 7 раз. Учитывая вышесказанное, 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 приходилось бы совершать взятие проб едва ли не с каждого метра всей площади поля. Это, в свою очередь, является крайне трудоемкой, дорогостоящей и абсолютно ненужной процедурой. Подобный подход не только сильно увеличивал бы затраты на сельское хозяйство, но и замедлял бы производственные процессы, что в конечном итоге могло бы привести к недостаточной производительности и неоправданным расходам ресурсов. Вместо этого, современные технологии и методы могут позволить нам оптимизировать процесс внесения удобрений, обеспечивая эффективное использование ресурсов и достижение необходимого уровня урожайности.

Существуют ли в мире машины, способные с высокой равномерностью (2–5 %) вносить дифференцированно необходимые дозы твердых минеральных удобрений на ширине захвата 1–3 м? Нам такие машины не известны. А существующие центробежные и штанговые машины не способны выполнить данные требования. Следовательно, назрела острая необходимость в разработке новых 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. 14).

Проведенные ранее исследования пневматической системы группового дозирования на высеве суперфосфата от 80 до 1200 кг/га пока-

зали высокую эффективность такой системы, обеспечившей равномерность высева 2–5 %.

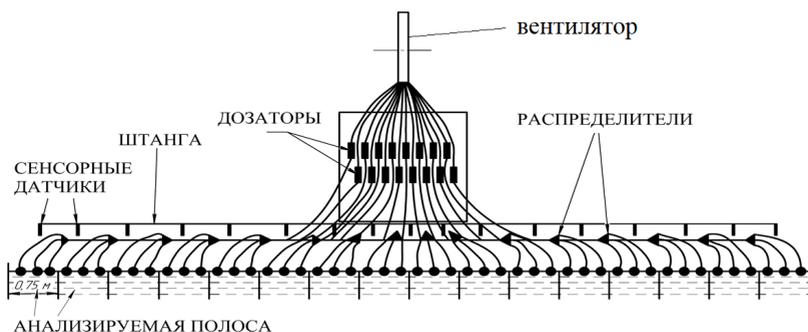


Рис. 14. Принципиальная схема пневматической высевающей системы для дифференцированного внесения гранулированных минеральных удобрений

Это позволит отказаться от существующих в настоящее время систем точного земледелия, предполагающих создание электронных карт полей, которые требуют больших материальных затрат. К тому же современная система точного земледелия с использованием существующих машин, к сожалению, не адаптирована к предлагаемому нами методу внесения минеральных удобрений. Таким образом, использование пневматической системы группового дозирования, которую мы предлагаем, является более практичным 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 без вмешательства человека 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. Следует признать, что от качества работы сенсор-

ного датчика по определению наличия в почве доступных для растений основных питательных элементов будет существенно зависеть эффективность операции дифференцированного внесения удобрений. Поэтому работа над такими датчиками крайне важна для мировой агроотрасли, поскольку необходимо обеспечить высокую точность работы этих датчиков независимо от влияния различных факторов (скорость движения агрегата, наличие растительных остатков, влажность и плотность почвы, разновидности почв и т. д.).

В настоящее время создание такого рода машин – это принципиально новое направление в дифференцированном внесении гранулированных минеральных удобрений, но точность этого способа существенно зависит от используемых для этого машин. Разработанная в УО БГСХА пневматическая система группового дозирования с распределителями семян горизонтального типа способна обеспечить не просто точное, а прецизионное внесение твердых удобрений, что может стать мировым трендом в данной области. Поэтому следует приложить 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 счет модернизации сеялки СУ-12-01 конструкции ОАО «Лидагропромаш» с использованием научных результатов проводимой нами работы. Предложение о сотрудничестве по этому вопросу направлено на данный завод.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астахов, В. С. Концептуальные проблемы механизации дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений и пути их решения / В. С. Астахов, О. В. Гордеенко, Г. О. Иванчиков // БЕЛАГРО-2023 : материалы респ. науч.-практ. конф., Минск, 6–11 июня 2023 г. – Минск, 2023. – С. 169–172.
2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2000 годы : с изм. и доп. от 3 апр. 2017 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – 2017. – 5/43542.
3. Степук, Л. Я. Технологии и машины для внесения минеральных удобрений : монография / Л. Я. Степук, Н. И. Дудко, В. Р. Петровец. – Горки : БГСХА, 2010. – 260 с.
4. Дудко, Н. И. Ресурсосберегающие технологии и машины для внесения минеральных удобрений и посева зерновых культур / Н. И. Дудко, В. Р. Петровец. – Горки : БГСХА, 2011. – 296 с.
5. Степук, Л. Я. Машины для применения средств химизации в земледелии : учеб. пособие / Л. Я. Степук, В. Н. Дашков, В. Р. Петровец. – Минск : Дикта, 2006. – 441 с.
6. Степук, Л. Я. Машины для современных и перспективных технологий / Л. Я. Степук. – Горки, 2007. – 178 с.
7. Петровец, В. Р. Подготовка к работе пахотных агрегатов и работа на них / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц. – Горки : БГСХА, 2002. – 36 с.
8. Петровец, В. Р. Подготовка к работе комбинированных агрегатов и работа на них / В. Р. Петровец, Н. В. Чайчиц. – Горки, 2002. – 12 с.
9. Петровец, В. Р. Управление сельскохозяйственной техникой : учеб. пособие / В. Р. Петровец, В. А. Гайдуков, Н. В. Чайчиц. – М. : Изд-во деловой и учеб. лит., 2004. – 319 с.
10. Ключков, А. В. Устройство сельскохозяйственных машин : учеб. пособие / А. В. Ключков, П. М. Новицкий. – Минск : РИПО, 2016. – 431 с.
11. Астахов, В. С. Анализ формирования растянутости ленты льна-долгунца при уборке комбайновой технологией / В. С. Астахов, С. В. Курзенков, О. В. Гордеенко // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 181–186.
12. Сенько, В. Ф. Повышение качества работы и технологической надёжности распределителей минеральных удобрений путём совершенствования штанговых рабочих органов : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. Ф. Сенько. – Минск, 1992. – 206 с.
13. Агрохимия : учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.] ; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 703 с.
14. Петровец, В. Р. Сравнительный анализ посева льна отечественными и зарубежными сеялками и агрегатами / В. Р. Петровец, В. С. Астахов, В. В. Амеличев // Конструирование, использование и надёжность машин сельскохозяйственного назначения : сб. науч. раб. / Брянск. гос. аграр. ун-т. – Брянск, 2022. – С. 254–260.
15. Астахов, В. С. Экологические аспекты химизации почвы / В. С. Астахов, В. В. Гусаров, Г. О. Иванчиков // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 34–39.
16. Степук, Л. Я. Повышение эффективности применения минеральных удобрений через внесение их смесей / Л. Я. Степук, Д. А. Крот // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 5. – С. 16–21.
17. Малоносов, Н. Л. Развитие производства и применение смешанных удобрений в СССР и за рубежом / Н. Л. Малоносов, Т. П. Унанянц. – М. : ВНИИТЭИСХ, 1978. – 54 с. – (Обзорная информация / ВАСХНИЛ, ВНИИ информации и технико-экономических исслед. по сел. хоз-ву).

18. Степук, Л. Я. Механизация процессов химизации и экология / Л. Я. Степук, И. С. Нагорский, В. П. Дмитрачков. – Минск : Ураджай, 1993. – 272 с.
19. Галдыбан, В. В. Внесение минеральных удобрений с использованием в питающем шнеке вращающегося кожуха со спиральным загрузочным отверстием : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Галдыбан. – Минск, 2010. – 147 с.
20. Лях, С. И. Повышение качества внесения минеральных удобрений совершенствованием процесса их дозирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / С. И. Лях. – Минск, 2003. – 164 с.
21. Свойства, получение и применение минеральных удобрений : учеб. пособие / Б. А. Дмитревский [и др.]. – СПб. : Проспект Науки, 2013. – 328 с.
22. Степук, Л. Я. Построение машин химизации земледелия / Л. Я. Степук, А. А. Жешко ; НАН Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.
23. Дудко, Н. И. Ресурсосберегающие технологии и машины для внесения минеральных удобрений и посева зерновых культур / Н. И. Дудко, В. Р. Петровец. – Горки : БГСХА, 2011. – 296 с.
24. Лях, С. И. Результаты государственных приемочных испытаний штанговой машины МТТ-4Ш для высокоточного внесения твердых минеральных удобрений / С. И. Лях // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса сельскохозяйственной техники : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2006. – Ч. 2. – С. 100–107.
25. Степук, Л. Я. Теория и расчет штанговых рабочих органов с замкнутым спиральным транспортером для внесения химических мелиорантов / Л. Я. Степук, И. В. Румянцев, А. И. Юркевич. – Минск : Белсельхозмеханизация, 1993. – 99 с.
26. Степук, Л. Я. Повышение качества приготвления и эффективности применения полидисперсных сельскохозяйственных материалов путём совершенствования процессов дозирования и разработки новых дозирующих устройств : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Л. Я. Степук. – Минск, 1991. – 401 с.
27. Герсезанов, Н. М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н. М. Герсезанов, Д. Е. Польшин. – М. : Стройиздат, 1948. – 248 с.
28. Сысолин, П. В. Машины и аппараты для внесения минеральных удобрений : рук. по курс. и дипл. проектированию / П. В. Сысолин ; Кировоград. ин-т с.-х. машиностроения. – Кировоград, 1968. – 79 с.
29. Степук, Л. Я. Механизация получения и применение многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л. Я. Степук. – Минск : Ураджай, 1990. – С. 236–237.
30. Павловский, И. В. Теоретическое обоснование туковывсевающего тарельчатого аппарата / И. В. Павловский // Тракторы и с.-х. машины. – № 12. – С. 22–24.
31. Крючин, Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : учеб. пособие / Н. П. Крючин. – Самара, 2003. – 116 с.
32. Результаты сравнительных испытаний туковывсевающих аппаратов / А. Х. Хаджиев [и др.] // Механизация хлопководства. – 1991. – № 2. – С. 3–4.
33. Астахов, В. С. Обзор дозирующих устройств для высева гранулированных минеральных удобрений пневматической системой группового дозирования / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 252–256.
34. Астахов, В. С. Обзор существующих способов отбора почвенных образцов при дифференцированном внесении удобрений / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 256–262.

35. Степук, Л. Я. Плюсы и минусы центробежных разбрасывателей / Л. Я. Степук, В. В. Барабанов // Наше сел. хоз-во. – 2009. – № 2. – С. 32–36.
36. Павловский, В. Точное земледелие – умная технология XXI века / В. Павловский, А. Мучинский, Г. Добыш // Белорус. сел. хоз-во. – 2011. – № 4. – С. 27–31.
37. Адамчук, В. В. Точное земледелие: существо и технические проблемы / В. В. Адамчук // Тракторы и с.-х. машины. – 2003. – № 8. – С. 4–6.
38. Иванчиков, Г. О. К вопросу выбора пневматической системы для равномерно-го внесения гранулированных минеральных удобрений / Г. О. Иванчиков, В. С. Астахов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2022. – Вып. 7. – С. 262–267.
39. Добышев, А. С. Усовершенствованная пневматическая система группового дозирования для сеялок и комбинированных агрегатов / А. С. Добышев, В. С. Астахов // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2007. – № 1. – С. 129–132.
40. Астахов, В. С. Неосвоенные резервы посевных машин / В. С. Астахов // Белорус. сел. хоз-во. – 2013. – № 10. – С. 118–120.
41. Астахов, В. С. Результаты испытаний пневматической централизованной высевающей системы при внесении минеральных удобрений / В. С. Астахов // Изв. Акад. аграр. наук Респ. Беларусь. – 1997. – № 1. – С. 67–72.
42. Технично-экономические аспекты дифференцированного внесения удобрений в системе точного земледелия / Л. Я. Степук [и др.] // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2012. – № 3. – С. 110–116.
43. Астахов, В. С. Возможный качественный прорыв при дифференцированном внесении гранулированных минеральных удобрений / В. С. Астахов // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2019. – № 1. – С. 158–161.
44. Астахов, В. С. К вопросу значимости минеральных удобрений в управлении производственным процессом и повышение их эффективности при использовании различных машин и способов внесения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 192–194.
45. Астахов, В. С. Точное земледелие как элемент ресурсосбережения и экологической безопасности / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Молодежь и инновации – 2022 : материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Горки, 25–27 мая 2022 г. – Горки, 2022. – С. 87–91.
46. Астахов, В. С. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений и пути их решения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 1. – С. 133–136.
47. Босак, В. Оптимизация питания растений / В. Босак. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2012. – 203 с.
48. Босак, В. Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / В. Н. Босак. – Минск, 2003. – 176 с.
49. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 161 с.
50. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2002. – 184 с.
51. Лапа, В. В. Применение удобрений и качество урожая / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2006. – 120 с.
52. Научно-технические основы построения машин химизации земледелия / Л. Я. Степук [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – 410 с.

53. Применение агромелиорантов при возделывании сельскохозяйственных культур / В. Н. Босак [и др.]. – Горки : БГСХА, 2020. – 18 с.
54. Применение однокомпонентных и комплексных удобрений / В. Н. Босак [и др.]. – Минск : БГТУ, 2018. – 30 с.
55. Применение удобрений при возделывании овощных культур / В. В. Скорина [и др.]. – Минск : БГТУ, 2012. – 16 с.
56. Смянович, О. Применение удобрений в севообороте / О. Смянович, В. Босак. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2013. – 108 с.
57. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 390 с.
58. Петровец, В. Р. Производственные технологии и техническое обеспечение процессов в сельскохозяйственном производстве / В. Р. Петровец. – Горки : БГСХА, 2022. – 240 с.
59. Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки : БГСХА, 2016. – 383 с.
60. Соколовский, И. В. Основы земледелия / И. В. Соколовский, В. Н. Босак. – Минск : БГТУ, 2012. – 137 с.
61. Справочник агронома / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки : БГСХА, 2017. – 315 с.
62. Астахов, В. С. К вопросу обоснования параметров катушечно-желобчатого высевающего аппарата для высева гранулированных минеральных удобрений в пневматической системе группового дозирования / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения : сб. науч. работ / Брянск. гос. аграр. ун-т. – Брянск, 2022. – С. 49–53.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. К вопросу значимости минеральных удобрений в управлении продукционным процессом в растениеводстве .....	4
2. Повышение эффективности минеральных удобрений при использовании различных машин и способов внесения .....	6
3. Точное земледелие как элемент ресурсосбережения и экологической безопасности .....	9
4. Проблемы применения систем точного земледелия при дифференцированном внесении твердых минеральных удобрений .....	11
5. Существующие способы отбора почвенных образцов при дифференцированном внесении удобрений .....	15
6. Существующие машины для внесения твердых минеральных удобрений .....	21
7. К вопросу совершенствования способов и машин для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений .....	24
8. К вопросу выбора пневматической высевающей системы для дифференцированного внесения минеральных удобрений .....	31
9. О разработке машины для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с высоким качеством .....	34
Библиографический список .....	41

Практическое издание

**Астахов** Василий Сергеевич  
**Иванчиков** Глеб Олегович

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЗАЦИИ  
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Рекомендации

Редактор *Н. А. Матасёва*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*  
Корректор *Е. В. Ширалиева*

Подписано в печать 29.09.2023. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,44.  
Тираж 100 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.