

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СПОСОБОВ И МАШИН ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 231407

(Поступила в редакцию 22.03.2023)

Для получения хорошего урожая в условиях сельскохозяйственных организаций необходимо не только правильно обрабатывать почву, но и внести в нее нужное для развития растений количество питательных веществ. Удобрения позволяют не только увеличить производительность, но и повысить качество самой продукции, а также сделать культуры более устойчивыми к негативным воздействиям окружающей среды. На сегодняшний день существует два вида удобрений: органические и минеральные. Также большое значение имеет создание, совершенствование и применение современных систем внесения удобрений, в частности систем для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений, которые значительно повысят урожайность и сократят расходы.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений в настоящее время является ключевым элементом в системе точного земледелия. Точное земледелие – это управление продуктивностью сельскохозяйственных культур с учетом внутрипольной вариативности среды обитания растений и обеспечение оптимальных условий для каждого квадратного метра поля. Цель дифференцированного внесения – выровнять плодородие почв, создать максимально одинаковые условия для произрастания тех или иных сельскохозяйственных культур, что даст большой и разнообразный эффект, прежде всего – получение максимальной прибыли, и осуществить воспроизводство почвенного плодородия. 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 путем 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 нем питательных элементов являются 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.

На данный момент известны агрегаты для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений. Точность данных машин объясняется изготовителями использованием передовых технологий в области точного земледелия. К таким технологиям относится: спутниковое зондирование почвы, составление электронных карт полей, активное внедрение навигационных систем. Однако на практике данные системы не способны обеспечить должную равномерность внесения твердых минеральных удобрений и являются лишь модернизированными версиями своих «предков». Поэтому возникает необходимость освещения основных недостатков систем внесения твердых минеральных удобрений, которые в данный момент рекомендуются практически повсеместно.

Ключевые слова: минеральные удобрения, точное земледелие, сельское хозяйство, дифференцированное внесение удобрений, центробежные разбрасыватели.

To obtain a good harvest in the conditions of agricultural organizations, it is necessary not only to properly cultivate the soil, but also to add the amount of nutrients necessary for the development of plants. Fertilizers can not only increase productivity, but also improve the quality of the products themselves, as well as make crops more resistant to negative environmental influences. Today, there are two types of fertilizers: organic and mineral. Also of great importance is the creation, improvement and application of modern fertilizer application systems, in particular systems for the differentiated application of solid mineral fertilizers, which will significantly increase yields and reduce costs.

Differentiated application of mineral fertilizers is currently a key element in the precision farming system. Precision farming is the management of crop productivity, taking into account the intra-field variability of the plant habitat and ensuring optimal conditions for each square meter of the field. The purpose of differentiated application is to equalize soil fertility, create the most identical conditions for the growth of certain crops, which will give a large and varied effect, primarily to maximize profits, and to reproduce soil fertility. In addition, this would contribute to a significant increase in the productivity of combines, since it would be possible to carry out a higher cut of the stalks of grain crops, which would reduce the amount of mass entering the thresher and reduce fuel consumption. At the same time, the time for harvesting grain crops would be reduced, which is very important for Belarus.

In practice, it has been found that the exact application of mineral fertilizers using the machines currently used is not as effective as it is justified in theory. In addition, such elements of precision farming systems as compiling electronic maps, satellite sounding of the soil and chemical analysis of the soil for the content of nutrients in it are financially costly and remain rather complicated procedures in terms of technical implementation for most enterprises. This pushes us to consider a different approach to high-quality, and most importantly, really accurate application of granular mineral fertilizers by a differentiated method within the framework of modern precision farming systems.

At the moment, units for the differentiated application of solid mineral fertilizers are known. The accuracy of these machines is explained by the manufacturers using advanced technologies in the field of precision farming. These technologies include: satellite sounding of the soil, the compilation of electronic maps of fields, the active introduction of navigation systems. However, in practice,

these systems are not able to ensure the proper uniformity of the application of solid mineral fertilizers and are only modernized versions of their "ancestors". Therefore, there is a need to highlight the main shortcomings of solid mineral fertilizer application systems, which are currently recommended almost everywhere.

Key words: mineral fertilizers, precision farming, agriculture, differentiated fertilization, centrifugal spreaders.

Введение

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, сегодня 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 довольно 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.

Цель статьи – описание машины для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с высоким качеством, которая способна обеспечить не только точное, но и прецизионное внесение твёрдых удобрений.

Основная часть

При решении задач оптимизации параметров дифференцированного внесения удобрений (доза внесения, количество участков, на которое разбирается 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 которых разбивается поле как при диагностике поля, так и при внесении удобрений (рис. 1).

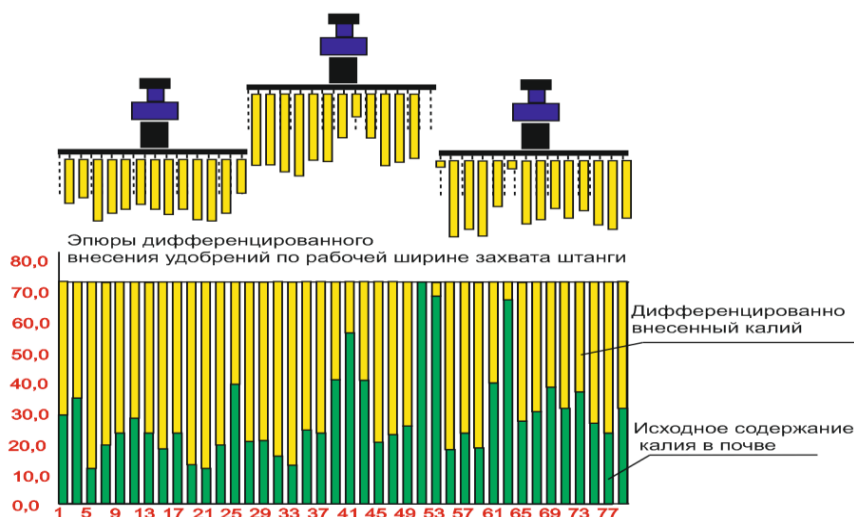


Рис. 1. Схема выровненного содержания калия в почве

Чем меньше участки, на которые вносятся удобрения с заданной дозой, тем выше затраты на диагностику поля и технические средства для выполнения технологического процесса [1]. 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.

Вместе с тем в УО БГСХА проводится поиск альтернативных направлений, технических решений для осуществления дифференцированного внесения удобрений. Одним из таких направлений является разработка автоматизированной удобрительной машины, которая бы осуществляла непосредственный экспресс-анализ наличия элемента(ов) питания в почве по пути своего следования и, соответственно регулировало 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 [2].

Наиболее трудной технической задачей в этом деле являются экспресс-датчики, определяющие 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, эта 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 [3]. 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 развернуто отметить роль ранее упомянутых датчиков в системе дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений на примере машин и агрегатов способных работать в online режиме.

Режим реального времени (on-line) предполагает предварительно определить агротребования 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. Hydro-N-Sensor – 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 (рис. 2).

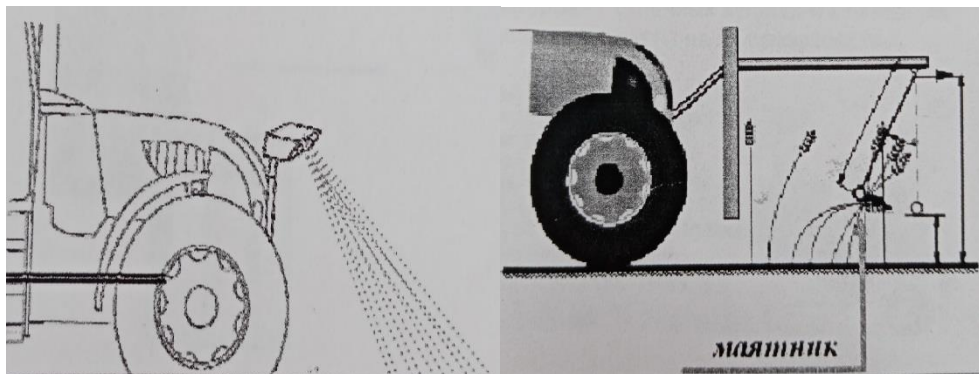


Рис. 2. Камера сканирования «Cam-Pilot» (слева), Механическая система «Crop-Meter» (справа)

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 [4].

Важным и определяющим элементом в работе N-сенсора являются калибровочные таблицы. Они используются для калибровки N-сенсора на поле. N-тестер, также как и N-сенсор позволяет определять содержание хлорофилла в листе растения. Калибровочные таблицы специально 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 фенофазы 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. Результат 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 ставит в соответствие 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 экономя удобрения и помогает избежать передозировок, что позволяет уменьшить стоимость операции и повысить экологическую безопасность. Но главной, на наш взгляд, проблемой является повсеместное продолжение использования 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 тоже время имеют и достаточно серьезные вопросы как по качеству внесения, что подразумевает высокую неравномерность, так и по загрязнению окружающей среды за счет внесения больших доз минеральных удобрений в почву [5]. Кроме этого, в соответствии с законом минимума (лимитирующего фактора) причинами «нездорового» цвета растений в том или ином месте поля, помимо недостатка 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 всё 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 относится: 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. 3 представлены иллюстрации современных машин для внесения твердых минеральных удобрений дифференцированным способом.



Рис. 3. Разбрасыватели минеральных удобрений фирмы KUHN

Конкретно в данном разбрасывателе 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 агрегата, он не способен выровнять пестроту содержания доступных растению питательных веществ в почве, которая изменяется каждые 1–3 метра в поперечном и продольном направлениях. Следовательно, эффективность дифференцированного внесения удобрений в данном случае будет очень низкой. Кроме этого, данный агрегат предусматривает 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 этого разбрасывателя является довольно сомнительной и требует большого количества кропотливой и отнимающей время работы на настройку, регулировку и калибровку данного агрегата не способного качественно выполнить операцию дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений.

Заключение

Исходя из вышеизложенных фактов, можно сделать вывод, что дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений путем применения центробежных разбрасывателей является устаревшей и исчерпавшей практически все возможности по ее улучшению технологией, эксплуатация которой в свою очередь продолжается во всем мире в виду отсутствия достойных способов и машин, которые бы были разработаны и внедрены в массовое производство и повсеместное использование на сельскохозяйственных предприятиях. Предложенная нами машина для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с высоким качеством способна обеспечить не только точное, а прецизионное внесение твердых удобрений, что может стать мировым трендом в данной области [6, 7]. Поэтому следует применить максимум усилий для реализации этой идеи. Совершенствование этой технологии позволит значительно повысить эффективность внесения минеральных удобрений и сократить дозы вносимых удобрений и загрязнение окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павловский, В. Точное земледелие – умная технология XXI века / В. Павловский, А. Мучинский, Г. Добыш // Белорусское сельское хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 27–31.
2. 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.
3. Степук, Л. Я. Технично-экономические аспекты дифференцированного внесения удобрений в системе точного земледелия / Л. Я. Степук [и др.] // Вестник БГСХА. – 2012. – №3. – С. 110–116.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Астахов, В. С. О разработке машины для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с высоким качеством / В. С. Астахов, С. В. Курзенков, Г. О. Иванчиков // Вестник БГСХА – Горки: 2023 – №1 – С. 143–146.