

УДК 631.8; 631.171

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОСНОВНОГО ПИТАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ НУЛЕВОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЯХ ИХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ**

**Нукешев С.О.**, член-корреспондент НАН РК, д.т.н.  
*Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина,  
г. Астана, Казахстан*

В настоящее время эффективность минеральных удобрений в условиях рискованного земледелия Северного Казахстана в значительной мере снижается из-за недостаточной равномерности их распределения по площади, обусловленной не только конструктивно-технологическими недостатками машин для внесения туков, но и использованием способа внесения усредненной дозы удобрений на все поле без учета внутривариационной изменчивости параметров исходного распределения их на участках поля. Решение этой технологической проблемы требует разработки новой технологии и создания автоматизированных технических средств для дифференцированного внесения минеральных удобрений в системе точного земледелия, обеспечивающих сохранение плодородия почв и повышение урожайности при высокой эффективности и окупаемости удобрений, что является важнейшей научно-технической проблемой, требующей решения в кратчайшие сроки [1].

В зерносеющих регионах Казахстана широкое применение технологий внутрипочвенного внесения основной дозы минеральных удобрений осуществляется медленно из-за отсутствия специализированной техники. На ранее разработанных плоскорезах-глубокорыхлителях КПП-2.2 и глубоко-рыхлителях-удобрителях ГУН-4, предназначенных для этой цели, высевающие аппараты не в полной мере выполняли агротехнические требования по неравномерности и устойчивости посева, а заделывающие рабочие органы – по распределению удобрений по площади внутри почвы. В результате эти машины не нашли широкого применения и были сняты с производства.

Недостаточность исследований по выявлению закономерностей пространственной изменчивости параметров плодородия почв, влияния пестроты плодородия почвы на урожайность возделываемых культур не позволяет сформировать исходные требования к технологии и техническим средствам для дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений.

Недостаточная изученность закономерностей движения и распределения удобрений в технологических процессах дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений является сдерживающим фактором на пути к разработке высокоадаптивных рабочих органов и машин для применения в системе точного земледелия. Не в полной мере обоснованы способы контроля и управления технологическим процессом дифференцированного применения удобрений.

Из-за несовершенства технологий внесения минеральных удобрений, сводоразрушающих, борошительных, дозирующих, распределяющих и заделывающих рабочих органов машин для внесения, не представляется возможным вносить удобрения дифференцированно с оптимальной дозой, необходимой для обеспечения генетически потенциальной урожайности сорта возделываемой сельскохозяйственной культуры. Учитывая большое количество влияющих на качество внесения удобрений факторов, многие из которых носят случайный характер, количество удобрений, выпадающих на элементарную площадку можно рассматривать как случайную величину.

Рассматривая среднюю урожайность  $U$  как функцию случайного аргумента, независимо от закона распределения удобрений по полю, и учитывая, что известны

функции отзывчивости данной сельскохозяйственной культуры на удобрения и плотность распределения их по полю, получим [2]:

$$Y = M[Y(D)] = a_0 + a_1 \bar{D} + a_2 (\sigma_D^2 + \bar{D}^2) = a_0 + a_1 D + a_2 D^2 [1/10^4 V_{\text{вн}}^2 + 1], \quad (1)$$

где  $\sigma_D$  - среднее квадратическое отклонение случайной величины  $D$ ,  $\bar{D}$  - математическое ожидание случайной величины  $D$ ,  $a_0, a_1, a_2$  - эмпирические коэффициенты, характеризующие функцию отзывчивости данной культуры на удобрения;  $V_{\text{вн}}$  - коэффициент вариации дозы внесения удобрений.

Анализ (1) показывает, что для нахождения средней урожайности при квадратичной зависимости урожайности от дозы внесения туков нет необходимости устанавливать закон распределения удобрений по полю, а достаточно знать только дозу внесения  $D$  и ее среднее квадратическое отклонение  $\sigma_D$ . Значения  $D$  и  $\sigma_D$  можно определить, выполнив математическую обработку данных агротехнической оценки машин. Из (1) также следует, что с ростом неравномерности внесения удобрений в почву значительно ухудшается отзывчивость растений на удобрения. Существующие технологии и машины для внутрпочвенного внесения минеральных удобрений не в полной мере обеспечивают качественное выполнение технологического процесса. Одна из причин этого - недостаточная изученность процессов взаимодействия минеральных удобрений с рабочими органами машин.

Качество выполнения технологического процесса внесения минеральных удобрений ( $V_{\text{вн}}$ ) можно оценить при помощи показателей эффективности. Для рассматриваемого процесса показателем эффективности может служить качество внесения удобрений при условии, что затраты не превышают заданной величины. Предположив, что известна функция отзывчивости конкретной сельскохозяйственной культуры на минеральное удобрение, эффект (тг/га) от внесения удобрений с учетом затрат на внесение, стоимости прибавки урожая и затрат на его транспортирование представляем в виде:

$$\mathcal{E} = (A - T)[a_0 + a_1 D + a_2 D^2 (1 + 1/10^4 V_{\text{вн}}^2)] - \mathcal{Z}_{\text{вн}} - \mathcal{C}_k, \quad (2)$$

где  $A$  - цена единицы продукции, тг/т;  $T$  - затраты на транспортирование единицы продукции, тг/т;  $\mathcal{Z}_{\text{вн}}$  - затраты на внесение физической массы удобрений, тг/га;  $\mathcal{C}_k$  - стоимость минеральных удобрений, тг/га.

Примем в (2) условие минимальности неравномерности внесения удобрений

$$j(V_{\text{вн}}) = 0. \quad (3)$$

Тогда оптимальные показатели качества внесения удобрений по полю находим в результате максимизации эффекта, для чего определяем условный максимум функции (2), т.е.

$$\max \mathcal{E} \quad \text{при } j(V_{\text{вн}}) = 0. \quad (4)$$

Алгоритм оптимизации показателей качества. Отыскание условного максимума можно свести к исследованию на обычный максимум функции Лагранжа  $L = \mathcal{E} + lj$ . Необходимые условия экстремума:

$$\varphi(V_{\text{вн}}) = 0; \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial V_{\text{вн}}} + \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial V_{\text{вн}}} = 0. \quad (5)$$

Найденный в результате решения задачи значение коэффициента вариации внесения удобрений  $V_{\text{вн}}^*$  будет оптимальным для данной технологии внесения минеральных удобрений.

Знание  $V_{\text{вн}}^*$  позволяет по-новому подойти к задаче контроля и управления качеством технологического процесса внесения удобрений, а также сформулировать тре-

бования к перспективным техническим средствам для внесения минеральных удобрений.

Для синтеза системы управления внесением минеральных удобрений технологический процесс внутрисочвенного внесения культиваторами-удобрителями согласен по рис. 1 представлен как ряд последовательно протекающих операций:

- движение машины по полю ( $D_M$ );
- питание туковысевающих аппаратов (П);
- дозирование удобрений (Д);
- транспортировка удобрений по тукопроводам к рабочему органу (Т);
- внутрисочвенное распределение удобрений (Р).

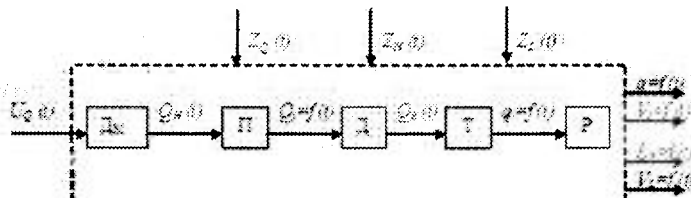


Рисунок 1 - Модель технологического процесса внутрисочвенного внесения удобрений культиватором-удобрителем

Задающими воздействиями процесса внутрисочвенного внесения минеральных удобрений являются: подача удобрений на туковысевающий аппарат  $U_0(t)$ , требуемая доза внесения удобрений  $q_i(t)$  и ширина ленты внесения  $L_L$ .

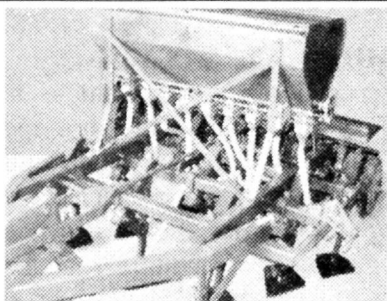
На выходные потоки  $Q_i(t)$  оказывают влияние возмущающие воздействия  $Z_Q(t)$ ,  $Z_H(t)$  и  $Z_L(t)$ , включающие физико-механические свойства удобрений, неровности поверхности поля, технические и технологические характеристики удобрительной машины. Выходными параметрами являются функции:  $q(t)$  - доза внесенных удобрений,  $V_1(t)$  - неравномерность высева между аппаратами и неустойчивость высева,  $L_1(t)$  - рабочая ширина ленты внесения,  $V_L(t)$  - неравномерность распределения удобрений по ширине рассева.

Задачей управления процессом внутрисочвенного внесения минеральных удобрений является изменение дозы внесения удобрений  $q(t)$  в зависимости от потребности данного элементарного участка поля в виде и дозах удобрения. Исходя из этого, функциональная схема автоматического управления технологическим процессом представлена как система управления исполнительными механизмами изменения дозы внесения.

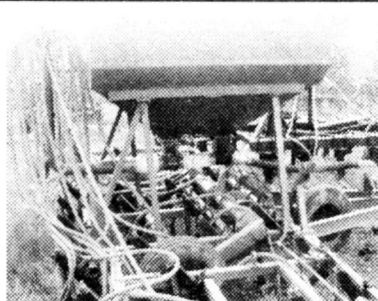
Для выявления передаточных функции распределения минеральных удобрений внутри почвы рассмотрен процесс подачи (П) удобрений от бункера до заделывающих рабочих органов (рисунок 1) с применением метода линеаризации динамической системы. Определены передаточные функции винтовых ворошителей, датчиков, исполнительных механизмов, туконаправителей в виде тукопроводов и центральных туко-распределителей, конического распределителя сошника с винтовым завихрителем.

Для производственной проверки технологии дифференцированного внутрисочвенного внесения минеральных удобрений и технических решений для ее реализации были разработаны культиваторы-удобрители [3, 4], рис. 2.

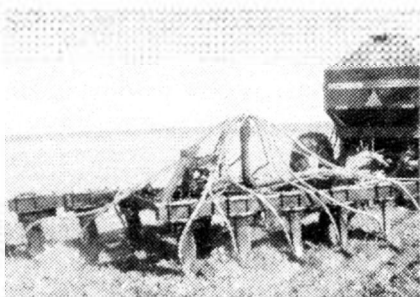
С целью получения информации о пространственной изменчивости параметров плодородия экспериментального поля проведен отбор и анализ почвенных проб. Результаты агрохимического анализа свидетельствуют о наличии большой неравномерности распределения питательных элементов в опытном поле.



а) на базе стерневой сеялки



б) с центрально-высевающей системой



в) чизельный удобритель

Рисунок 2 - Культиваторы-удобрители

С учетом содержания элементов питания осуществлено внутрипочвенное дифференцированное внесение стартовых и основных доз удобрений, определены переходные характеристики и качество выполнения технологического процесса.

Лабораторно-полевые испытания показали, что:

– культиватор-удобритель на базе СЗС-2,0 позволяет дифференцировать дозу внесения от 12 до 408 кг/га и увеличить ширину рассева минеральных удобрений более чем в 3 раза на глубину до 8 см по сравнению с базовой машиной;

– культиватор-удобритель с ЦВС позволяет дифференцировать дозу внесения от 50 до 450 кг/га со временем переходного периода 3-3,5 с, снижает неравномерность внесения по ширине захвата на 20-22 % по сравнению с зернотуковой сеялкой централизованного высева «БАРС -1000», повышает ширину ленты удобрений на 30-35%;

– чизель-удобритель обеспечивает обработку почвы на глубину 32...35 см и внесение удобрений с шириной наклонной ленты 25...29 см и с неравномерностью распределения удобрений по ее ширине 7,8-22,7%.

Результаты технико-экономического анализа показали, что дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом исходной неравномерности распределения питательных веществ в почве позволит повысить окупаемость фосфорных удобрений до 18,5 кг зерна на 1 кг действующего вещества удобрений при нормативной окупаемости 8-10 кг, а также обеспечить экономию минеральных удобрений на 25-30 %, что позволит снизить агрохимическую нагрузку на окружающую среду. Годовой экономический эффект от внедрения разработанных технических средств для внутрипочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений составляет более 25 тыс. у.е.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологические процессы и технические средства для внутрисочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений не удовлетворяют требованиям точного земледелия. Повышение эффективности их функционирования может быть достигнуто на основе научно обоснованных технологических и технических решений, обеспечивающих генетически потенциальную урожайность с учетом пестроты распределения в почве питательных веществ и экологических требований.

Средняя урожайность сельскохозяйственной культуры зависит от количества питательных элементов почвы доступных растению, неравномерности их распределения в почве, дозы вносимого удобрения, неравномерности внесения и степени взаимодействия названных случайных величин. С целью повышения урожайности сельскохозяйственной культуры наряду с оптимизацией дозы внесения туков необходимо уменьшать неравномерность распределения их по полю за счет разбивки поля на ареалы с последующим внесением удобрений на каждый из ареалов с дозой необходимой для получения потенциальной урожайности.

Пооперационное представление технологического процесса внутрисочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений позволило определить передаточные функции рабочих органов разработанных технических средств.

Результаты исследований технологии дифференцированного внутрисочвенного внесения минеральных удобрений и технических средств для ее осуществления реализованы в макетных образцах, работоспособность которых проверена в лабораторных и полевых условиях.

Дифференцированное внесение минеральных удобрений с учетом исходной неравномерности распределения питательных веществ в почве позволит повысить окупаемость фосфорных удобрений до 18,5 кг зерна на 1 кг действующего вещества удобрений при нормативной окупаемости 8-10 кг, а также обеспечить экономию минеральных удобрений на 25-30 %, что позволит снизить агрохимическую нагрузку на окружающую среду.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Нукешев С.О. Технологические и технические решения проблемы дифференцированного применения удобрений // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы: «Бастау», №.9 2007г. - С.40-43.

2 Личман Г.И., Нукешев С.О. К разработке экономико-математической модели технологии дифференцированного внесения удобрений // International cross-industry research journal // Perspectives of Innovations, Economics and Business. Volume 2, Praga. 2009. – р. 99-102.

3 Патент 19960 РК. Комбинированная сеялка / Нукешев С.О. и др.; опубл. 15.09.2008, Бюл. № 9. – 5 с.: ил.

4 Инновационный патент 22627 РК. Комбинированная сеялка / Нукешев С.О. и др.; опубл. 15.07.2010, Бюл. № 7. – 4 с.: ил.