

**Романюк Н.Н.**

Белорусский государственный аграрный технический университет

**Нукешев С.О.**

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина

**Жунусова А.Е.**

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина

**Шамганова А.А.**

Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина

**E-mail:** romanyuk-nik@tut.by

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И  
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ  
ВНУТРИПОЧВЕННОГО  
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*УДК 631.8; 631.171*

В статье рассматриваются технологические процессы и технические средства для внутрипочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений. Разработаны оригинальные конструкции комбинированных сеялок для дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений. Предложено оригинальное устройство для равномерного распределения и дозирования сыпучих удобрений. Результаты исследований технологии дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений и технических средств для ее осуществления реализованы в макетных образцах, работоспособность которых проверена в лабораторных и полевых условиях.

**Ключевые слова:** технологические процессы, технические средства, внутрипочвенное дифференцированное внесение, минеральные удобрения, комбинированные сеялки, устройство, равномерное распределение, дозирование.

**Введение.** Обработка почвы является важным звеном в системе агротехнических мероприятий в производстве продуктов растениеводства. Механическое воздействие рабочих органов машин и орудий на почву приводит к мобилизации органического вещества, улучшению физических свойств почвы. Изменение строения пахотного слоя, вызванное механической обработкой, обеспечивает наиболее благоприятные условия для протекания биологических, физико-химических, физических процессов почве, а содержание в ней кислорода и влаги положительно влияет на реакцию почвенного раствора, усиливая активность микрофлоры [1].

Повышение эффективности производства сельскохозяйственных культур связано с интенсификацией процессов растениеводства на базе комплексной механизации и внедрения систем машин, отвечающих почвенно-климатическим условиям каждой зоны. Возможность комплексного использования машин и оборудования на основе передовых промышленных технологий производства сельскохозяйственных культур представляет собой качество присущее современной технике в растениеводстве. Комплексная механизация работ не возможна без научно-обоснованной системы машин, обеспечивающей механизацию всех основных и вспомогательных операций возделывания сельскохозяйственных культур [1].

Интерес ученых и специалистов сельского хозяйства вызывает проблема, касающаяся способов внесения удобрений, так как количество питательных веществ в почве является одним из основных факторов роста и развития сельскохозяйственных культур. Решение данной проблемы будет способствовать повышению урожайности зерновых культур и улучшению экономических показателей сельскохозяйственного производства. [1].

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 внутривариабельности 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 [2].

**Основная часть.** В зерносеющих регионах Казахстана широкое применение технологий внутривариабельного внесения основной дозы минеральных удобрений осуществляется медленно из-за отсутствия специализированной техники. На ранее разработанных плоскорезах-глубококорыхлителях КПП-2,2 и глубококорыхлителях-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 вариативности параметров плодородия почв, влияния пестроты плодородия почвы на урожайность возделываемых культур не позволяет сформировать исходные требования к технологии и техническим средствам для дифференцированного внутривариабельного внесения минеральных удобрений.

Недостаточная изученность закономерностей движения и распределения удобрений в технологических процессах дифференцированного внутривариабельного 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.

Средняя урожайность сельскохозяйственной культуры  $Y$  как функция случайного аргумента, независимо от закона распределения удобрений по полю, при известной функции отзывчивости данной культуры на удобрения и плотность распределения их по полю, определяется по зависимости [3]:

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

где  $\sigma_D$  - среднеквадратическое 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 среднеквадратическое 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 ( $V_{вн}$ ) 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 (у.е./т) от внесения удобрений с учетом затрат на их внесение, стоимости прибавки урожая и затрат на его транспортирование представится в виде:

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

где  $A$  - цена единицы продукции, у.е./т;

$T$  - затраты на транспортирование единицы продукции, у.е./т;

$Z_{вн}$  - затраты на внесение физической массы удобрений, у.е./т;

$C_k$  - стоимость минеральных удобрений, у.е./т.

Примем в (2) условие минимальности неравномерности внесения удобрений:

$$j(V_{вн}) = 0. \quad (3)$$

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

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

Алгоритм оптимизации показателей качества. Отыскание условного максимума можно свести к исследованию на обычный максимум функции Лагранжа  $L = \mathcal{E} + \lambda \varphi$ .

Необходимые условия экстремума:

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

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

Знание  $V_{вн}$  позволяет по-новому подойти к задаче контроля и управления качеством технологического процесса внесения удобрений, а также сформулировать требования к перспективным техническим средствам для внесения минеральных удобрений.

## Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Для синтеза системы управления внесением минеральных удобрений, технологический процесс внутрипочвенного внесения культиваторами-удобрителями можно представить как ряд последовательно протекающих операций (рисунок 1):

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

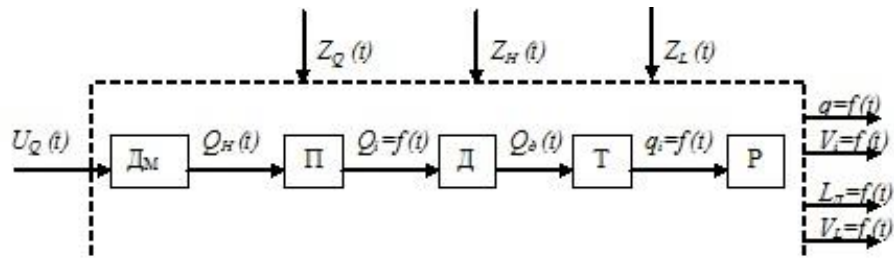


Рисунок 1 – Модель технологического процесса внутрипочвенного внесения удобрений культиватором-удобрителем

Задающими воздействиями процесса внутрипочвенного внесения минеральных удобрений являются: подача удобрений на туковысевающий аппарат  $U_Q(t)$ , 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,

$V_i(t)$  - неравномерность высева между аппаратами и неустойчивость высева,

$L_L(t)$  – рабочая ширина ленты внесения,

$V_L(t)$  – неравномерность распределения удобрений по ширине рассева.

Задачей управления процессом внутрипочвенного внесения минеральных удобрений является изменение дозы их внесения  $q(t)$  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 тукораспределителей, конического распределителя сошника с винтовым завихрителем.

Для производственной проверки технологии дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений и технических решений для ее реализации были разработаны культиваторы-удобрители [4, 5] (рисунок 2).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Культиваторы-удобрители:  
 а) на базе стерневой сеялки, б) с центрально-высевающей системой, в) чизельный удобритель

Авторами также разработано оригинальное устройство для равномерного распределения и дозирования сыпучих удобрений (рисунок 3).

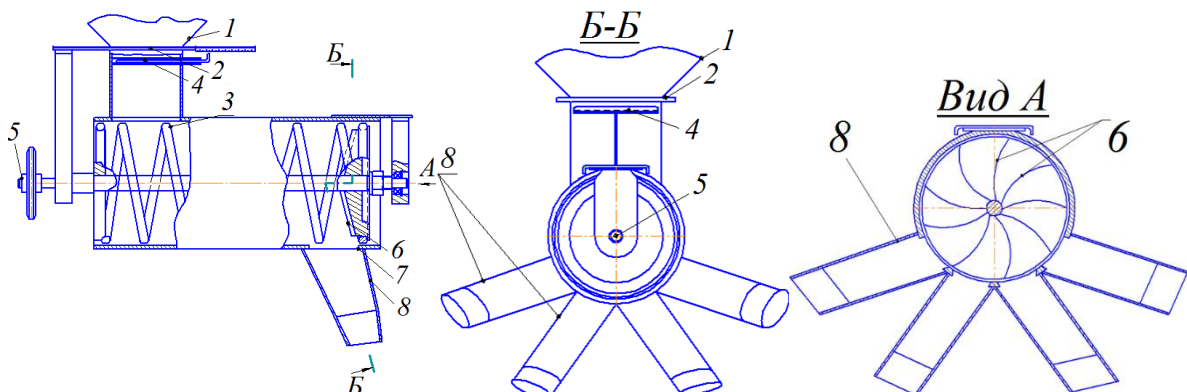


Рисунок 1 – Устройство для равномерного распределения и дозирования сыпучих удобрений

Устройство включает бункер 1 зерновой сеялки в форме усеченного конуса, в нижнем отсеке бункера выполнено высевное окно 2, количество поступающего из бункера на дозатор 3 удобрения регулируется заслонкой 4, с регулировочной шкалой установки нормы высева материала. Дозатор 3, представляет собой спиралевидное упругое

тело, закрепленное на валу 5 привода высевающего устройства, на котором закреплен конический сегментный отражатель 6 с выгрузными окнами 7 и тукопроводом 8.

Сегментный отражатель 6 представляет собой конус с рифами, форма которых описывается формулой:

$$L = \pi r \alpha / 180^\circ, \quad (6)$$

где  $L$  — длина дуги, м;  $r$  — радиус окружности, м;  $\alpha$  — центральный угол в градусах.

Устройство для равномерного распределения и дозирования сыпучих удобрений работает следующим образом. Удобрение из бункера 1 через высевное окно 2 самотеком поступает в спиральный дозатор 3. Дозатор 3, вращаясь, транспортирует удобрение к выгрузному окну 7, при этом сегментный отражатель 6 равномерно распределяет удобрение по тукопроводам 8.

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.

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

Лабораторно-полевые испытания показали, что:

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

– культиватор-удобритель с центрально-высевающей системой 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 зернутоковой сеялкой централизованного посева «БАРС -1000», при этом ширина ленты удобрений повышается 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 внутripочвенного дифференцированного внесения минеральных удобрений составляет более 25 тыс. у.е.

**Выводы.** 1 Технологические процессы и технические средства для внутripочвенного 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.

2 Средняя урожайность сельскохозяйственных культур зависит от количества питательных элементов в почве, доступных растению, неравномерности их распределения,

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.

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

4 Разработаны оригинальные конструкции комбинированных сеялок для дифференцированного внутрипочвенного внесения минеральных удобрений.

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

6 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.

7 Предложено оригинальное устройство для равномерного распределения и дозирования сыпучих удобрений, использование которого позволит реализовать равномерное внесение сыпучих удобрений, повысить качество и надежность работы агрегата в целом.

## **Литература**

1. Новохатский, В.М. Повышение качества внутрипочвенного внесения твердых минеральных удобрений при основной безотвальной обработке почвы путем совершенствования параметров пневмомеханического тукораспределительного устройства: диссертация ... кандидата технических наук: 05.20.01 / В.М. Новохатский; [Место защиты: Волгогр. гос. с.-х. акад.]. - Волгоград, 2009. - 156 с.
2. Нукешев С.О. Технологические и технические решения проблемы дифференцированного применения удобрений // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы: «Бастау», №9. – 2007. - С.40-43.
3. Личман, Г.И. К разработке экономико-математической модели технологии дифференцированного внесения удобрений / Г.И. Личман, С.О. Нукешев // International cross-industry research journal // Perspectives of Innovations, Economics and Business. Volume 2, Praga. 2009. – p. 99-102.
4. Патент 19960 РК. Комбинированная сеялка / Нукешев С.О. и др.; опубл. 15.09.2008, Бюл. № 9.
5. Инновационный патент 22627 РК. Комбинированная сеялка / Нукешев С.О. и др.; опубл. 15.07.2010, Бюл. № 7.

Ramaniuk Mikalai, Sayakhat Nukeshev, Asel Zhunusova, Agilia Shamganova  
**Innovative technologies and technical means for the subsurface differentiated fertilization**

The article discusses the technological processes and technical tools for subsurface differentiated fertilization. Developed original designs combined drills for differentiated soil fertilization. An original device for uniform distribution and metering of granular fertilizers. The results of the research technology differentiated soil mineral fertilizers and technical means for its implementation are implemented in the mock-up samples, the performance of which was tested in laboratory and field conditions.

**Keywords:** processes, techniques, subsurface differential application, mineral fertilizers, combined drills, device, uniform distribution, dispensing.

### **References**

1. Novokhatski, V. M. Improving the quality of soil application of solid mineral fertilizers in the main subsurface soil treatment by improving the parameters of pneumatic mechanical tumorspecific device : dissertation ... of candidate of technical Sciences : 05.20.01 / V. M. Novokhatski; [Place of protection: Volg. state. agr. Acad.]- Volgograd, 2009. – 156s.
2. Nukeshev S. O. Technological and technical solutions to the problem of differential application of fertilizer // Bulletin of agricultural science of Kazakhstan. - Almaty: "Bastau", №.9. - 2007. - P. 40-43.
3. Lichman, G.I. To the development of an economic-mathematical model of technology differentiated fertilizer / G.I. Lichman, S.O. Nukeshev // International cross-industry research journal // Perspectives of Innovations, Economics and Business. Volume 2, Praga. 2009. – p. 99-102.
4. Patent 19960 RK. Combined drill / Nukeshev S. O. and others; publ. 15.09.2008, bull. No. 9.
5. Innovative patent 22627 RK. Combined drill / Nukeshev S. O. and others; publ. 15.07.2010, bull. No. 7.