

**В. К. Клыбик, И. С. Пылило**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
e-mail: Labts@mail.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕЧНОГО ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В статье обоснованы конструктивно-технологические параметры и режимы работы катушечного дозирующего устройства для дифференцированного внесения минеральных удобрений.

*Ключевые слова:* высевальная катушка, диаграмма, дозирующее устройство, минеральные удобрения, рабочий орган, регулирование дозы, установка.

**V. K. Klybik, I. S. Pylylo**

*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: Labts@mail.ru*

## **JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF COIL METERING DEVICE FOR VARIABLE RATE APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS**

The article substantiates the design and technological parameters and operating modes of the coil dosing device for differentiated application of mineral fertilizers.

*Keywords:* seed coil, diagram, metering device, fertilizer, the working body, the regulation dose setting.

### **Введение**

Освоение новых технологий в растениеводстве, предусматривающих дифференцированное внесение минеральных удобрений и известковых материалов с учетом ранее накопленных в почве питательных веществ, невозможно без разработки отечественных базовых машин с регулирующими дозаторами, приспособленными к их автоматическому управлению.

Выпускаемые в настоящее время промышленными предприятиями республики машины для внесения удобрений с центробежными дисковыми распределяющими рабочими органами (РУ-1000, РДУ-1,5, РУ-7000, РУ-3000, РДУ-8,5, МВУ-5), штанговые машины РШУ-12, МШВУ-18, РШУ-18, разработанные РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», нуждаются в постоянной оперативной настройке в зависимости от типа удобрений, требуемой дозы внесения. В них отсутствует возможность изменять дозу вносимых удобрений в процессе работы.

Оснащение этих машин дозирующими устройствами, управляемыми микропроцессорными электронными системами, позволит полностью автоматизировать процесс дифференцированного внесения удобрений.

При дифференцированном внесении удобрений учитывается внутривариационная изменчивость параметров плодородия и для обеспечения растений необходимым количеством питательных элементов приходится в широких пределах, от 10 до 140 кг действующего вещества на гектар, изменять дозы внесения, в связи с чем существенно возрастают требования к дозирующим системам машин.

### **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований являлись дозирующие устройства катушечного типа. Теоретические исследования проводились с использованием механико-математического моделирования и методов дифференциального и интегрального исчисления.

## Результаты исследований

Для обоснования параметров дозирующего устройства необходимо знать диапазон изменения норм внесения доз удобрений по физической массе  $D_{ф.м.мин}$ ,  $D_{ф.м.маx}$  [1–2]. Исходя из заданного диапазона определяются секундная подача удобрений и основные технологические параметры высевающих устройств, такие как рабочий объем и частота вращения катушки.

Значения  $D_{ф.м.мин}$ ,  $D_{ф.м.маx}$  с учетом планируемой урожайности, предопределяются содержанием элементов питания в пахотном слое конкретного поля, их вариабельностью, и в большинстве случаев основные дозы находятся в пределах от 100 до 1000 кг/га, а подкормочные – от 20 до 150 кг/га [3–4]. Следовательно,  $D_{ф.м.маx}$  в физическом весе достигает 1000 кг/га.

Исследование процесса высева катушечным аппаратом показало, что в его работе можно схематически различать три вида движения потока минеральных удобрений: самопроизвольное (свободное), принудительное и активное. Активное движение минеральных удобрений обуславливается перемещением их под действием импульса катушки [5]. Активный поток удобрений не предназначен непосредственно для внесения, но участвует в нем, присоединяется к принудительному высеву и играет весьма значительную роль в общем процессе. Так, например, при увеличении частоты вращения вала катушки до 50 мин<sup>-1</sup> объем активного слоя увеличивается [6]. Если частота вращения превысит 60 мин<sup>-1</sup>, будет наблюдаться недостаток удобрений в зоне отбора удобрений катушкой и равномерность высева снизится.

Изучив опыт эксплуатации штанговых машин для внесения минеральных удобрений МШВУ-18 и РШУ-18, на которых установлены гидромоторы с червячным редуктором, обеспечивающие диапазон вращения от 10 до 35 мин<sup>-1</sup>, а также литературные источники по катушечным высевающим устройствам, можно принять нижнюю частоту вращения на уровне 10 мин<sup>-1</sup>, так как дальнейшее снижение частоты повлечет за собой ухудшение равномерности внесения минеральных удобрений.

Для оценки диапазона удельной производительности катушечного дозирующего устройства в зависимости от его частоты вращения при различных нормах внесения минеральных удобрений построим диаграмму (рисунок 1).

Принимаем следующие исходные данные: рабочая скорость движения соответствует максимально допустимой по агротехническим требованиям и равна 3,3 м/с, рабочая ширина захвата одной катушки составляет 25 см, максимальная доза вносимых минеральных удобрений – 1000

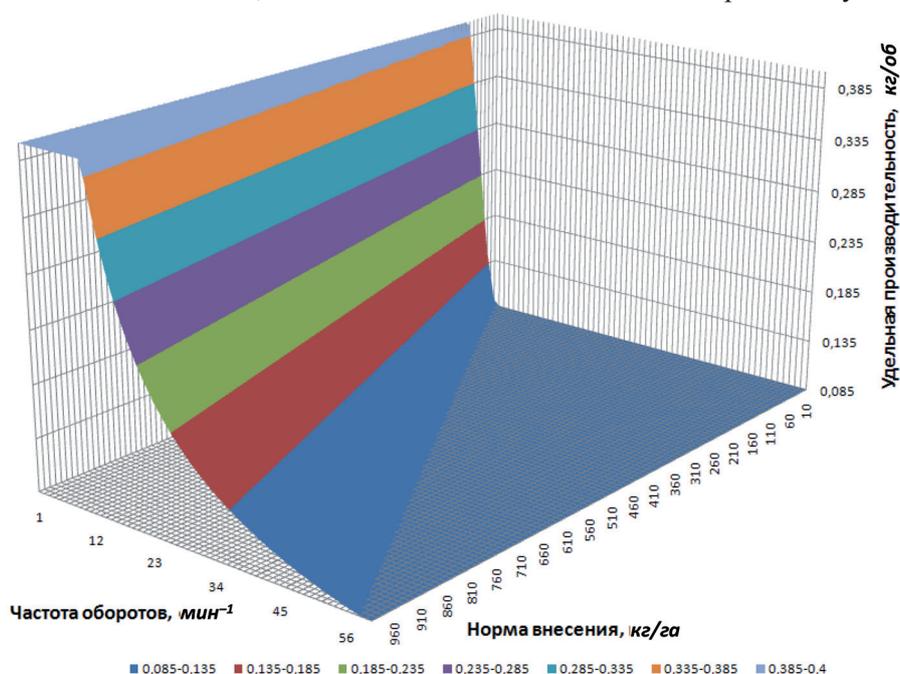
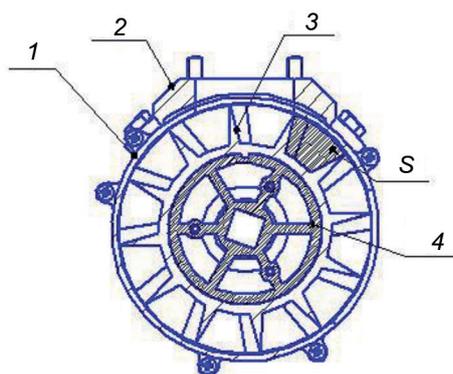


Рисунок 1. – Диаграмма зависимости удельной производительности катушечного высевающего аппарата от частоты вращения катушки при различных нормах внесения минеральных удобрений



1 – корпус блока подачи удобрений;  
 2 – кронштейн; 3 – гребень крыльчатки;  
 4 – основание крыльчатки с отверстием под приводной вал; S – площадь поперечного сечения желобка катушки

Рисунок 2. – Высевающая катушка

кг/га по физической массе.

На основе данных диаграммы (рисунок 1) определяем, что для обеспечения всего диапазона норм внесения минеральных удобрений наиболее подходящими являются катушки, обеспечивающие за один оборот высев материала массой от 0,06 до 0,1 кг. При внесении такими катушками малых доз минеральных удобрений – в пределах от 20 до 200 кг/га по физической массе, которые необходимо обеспечивать при применении технологии точного земледелия, частота вращения снижается ниже допустимой до 0,2...9 мин<sup>-1</sup>.

Компенсировать снижение оборотов катушки можно путем применения катушечных высевающих устройств с изменяемой удельной производительностью. Такого изменения производительности можно достичь перекрытием части катушки заслонкой, что позволит уменьшить удельную производительность катушки, но повысить обороты

катушечного высевающего аппарата до минимального уровня, обеспечивающего заданную равномерность.

Конструктивно катушка дозирующего устройства состоит из четырех секций и имеет 12 желобков. Ширина катушки составляет 6,5 см (рисунок 2).

Так как площадь поперечного сечения одного желобка прямо пропорционально зависит от удельной массы высеваемого материала за оборот катушки и обратно пропорционально – от ширины катушки и количества желобков, получим выражение:

$$S = \frac{M \cdot k}{l \cdot n \cdot p}$$

где  $l$  – ширина катушки, м;  $M$  – удельная масса высеваемого материала за оборот катушки, кг/об;  $k$  – коэффициент наполняемости желобков;  $p$  – плотность минеральных удобрений, кг/м<sup>3</sup> (для аммиачной селитры равна 1,73 г/см<sup>3</sup> = 1730 кг/м<sup>3</sup>);  $n$  – количество желобков катушки, шт.

Площадь поперечного сечения одного желобка будет равна:

$$S = \frac{0,1 \cdot 0,7}{0,065 \cdot 12 \cdot 1730} = 0,000052 \text{ м}^2 = 52 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, при максимальной норме внесения удобрений масса высеваемого материала за оборот катушки равна 0,1 кг и площадь поперечного сечения одного желобка будет составлять 52 мм<sup>2</sup>.

Для данной катушки на рисунке 3 представлена графическая зависимость частоты вращения катушки от нормы внесения минеральных удобрений.

В результате проведенных расчетов установлено, что катушечный высевающий аппарат с удельной производительностью 0,1 кг за один оборот и площадью поперечного сечения желобка 58 мм<sup>2</sup> удовлетворяет требованиям по частоте вращения от 10 до 50 мин<sup>-1</sup> в диапазоне внесения минеральных удобрений от 200 до 1000 кг/га.

Для проведения экспериментальных исследований и подтверждения расчетов разработан и изготовлен макетный образец установки дифференцированного внесения минеральных удобрений (рисунок 4).

Макетный образец системы дифференцированного внесения минеральных удобрений смонтирован на раме 1, состоящей из труб прямоугольного сечения, на которой смонтированы все детали и узлы макетного образца. Образец состоит из бункера для удобрений 2 объемом 50 л, двух высевающих катушек 3 (ЖРВИ 304119.002), позволяющих дозировать количество высе-

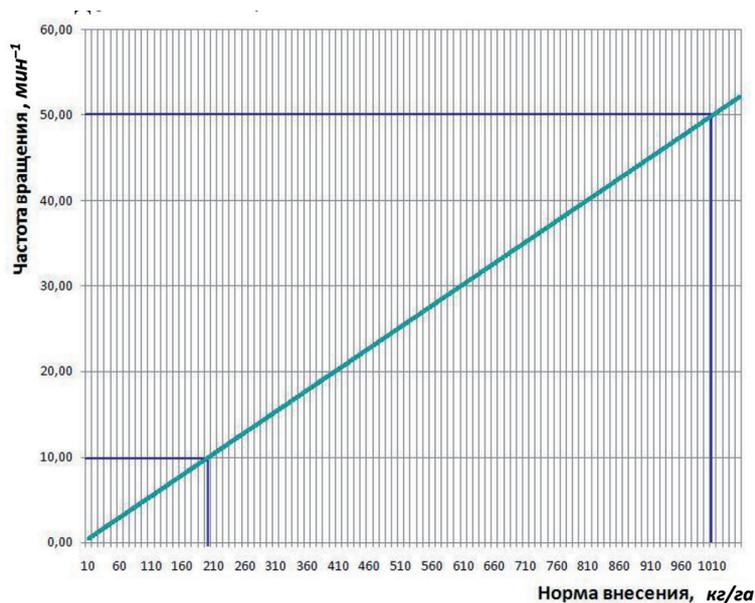
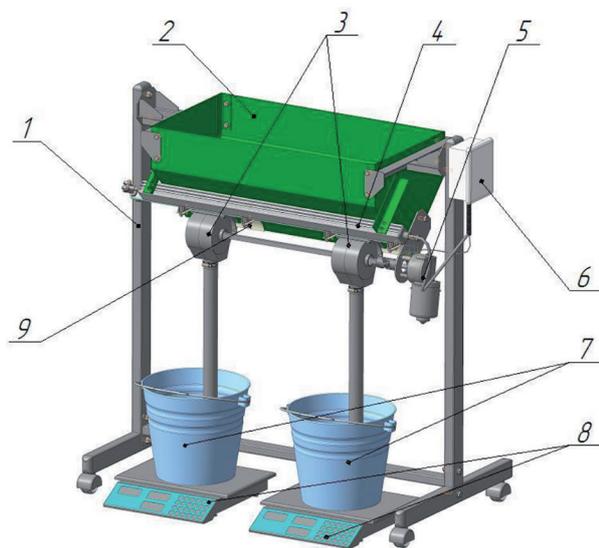


Рисунок 3. – Графическая зависимость частоты вращения катушки от нормы внесения минеральных удобрений



1 – рама; 2 – бункер для удобрений; 3 – высевающие катушки; 4 – электропривод заслонок; 5 – электропривод высевающих катушек; 6 – щиток распределительный; 7 – емкости для сбора удобрений; 8 – электронные весы; 9 – заслонка

Рисунок 4. – Общий вид макетного образца системы дифференцированного внесения минеральных удобрений

ваемых минеральных удобрений, электропривода высевающих катушек 5 на базе аккумуляторного винтовёрта SC60, позволяющего по сигналам, формируемым в блоке управления в зависимости от заданной нормы внесения минеральных удобрений, создавать необходимый крутящий момент и частоту вращения для обеспечения требуемой нормы высева, заслонок 9 для обеспечения изменения удельной производительности катушечного высевающего устройства путем перекрытия части катушки, электропривода заслонок 4, емкости для сбора удобрений 7, электронных весов 8 для взвешивания высеянной массы удобрений через катушечное дозирующее устройство и щитка распределительного 6, смонтированного в корпусе ЩМП-2 и состоящего из блока управления частотой вращения электродвигателем, панели оператора графической ИП320, программируемого логического контроллера ПЛК100-24.К-МП и двух индуктивных датчиков LA12M-50.4N4.U1.K, позволяющего формировать управляющие сигналы на электроприводы,

имитирующие реальные условия работы машин для внесения минеральных удобрений по карт-заданию.

Установка работает следующим образом: в бункер 2, установленный на раме 1, засыпаются минеральные удобрения. С распределительного щитка 6 подаются управляющие сигналы на электроприводы заслонки 4 и электродвигатель высевающих катушек 5. Сигналы, сформированные по расчетным алгоритмам в зависимости от необходимой нормы внесения минеральных удобрений, имитируют реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию посредством изменения величины открытия заслонки 9 и частоты вращения катушечного высевающего устройства 3. Далее минеральные удобрения поступают в емкость для сбора минеральных удобрений 7, установленную на весах 8, и на электронном табло регистрируются данные об изменении массы собранных минеральных удобрений.

Разработана программа-методика экспериментальных исследований макетного образца, позволяющая оценить следующие показатели качества работы дозирующего рабочего органа при дифференцированном внесении минеральных удобрений: нестабильность дозы внесения минеральных удобрений на элементарном участке и время установления заданной дозы, имитируя реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию при различных скоростях движения.

Параметром оптимизации качества технологического процесса принята производительность дозирующего устройства ( $г/с$ ). В качестве изменяемых факторов, влияющих на показатель параметра оптимизации, выбраны: частота вращения катушечного аппарата ( $мин^{-1}$ ), рабочий объем высевающей катушки ( $см^3$ ) и величина открытия заслонки в процентах.

### Заключение

В результате теоретических исследований предложен катушечный высевающий аппарат для высокоточного дозирования минеральных удобрений в технологии точного земледелия, обеспечивающий норму внесения от 200 до 1000  $кг/га$  по физической массе в диапазоне вращения катушки от 10 до 50  $мин^{-1}$  и обладающий следующими конструктивными параметрами: удельная производительность составляет от 0,09 до 0,25  $кг/об$ , количество желобков – 12, площадь поперечного сечения одного желобка  $S = 104 мм^2$ .

Для внесения малых доз минеральных удобрений, в пределах от 20 до 200  $кг/га$ , которые необходимо обеспечивать при применении технологии точного земледелия, следует применять катушечные высевающие устройства с изменяемой удельной производительностью. Изменить производительность можно путем перекрытия части катушки заслонкой, что позволит уменьшить рабочую длину и, соответственно, удельную производительность катушки, не уменьшая обороты катушечного высевающего аппарата ниже минимального уровня, обеспечивающего заданную равномерность.

Проведение экспериментов на разработанном макетном образце установки дифференцированного внесения минеральных удобрений по программе-методике экспериментальных исследований позволят оценить следующие показатели качества работы дозирующего рабочего органа: нестабильность дозы внесения минеральных удобрений на элементарном участке и время установления заданной дозы, имитируя реальные условия работы машины для внесения минеральных удобрений по карт-заданию при различных скоростях движения.

### Литература

1. Батурин, В. А. Обоснование параметров высевающей системы для припосевного дифференцированного внесения минеральных удобрений: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В. А. Батурин. – М., 2012. – 193 с.
2. Степук, Л. Я. Технические, экономические и организационные аспекты дифференцированного внесения удобрений в системе точного земледелия / Л. Я. Степук, В. Р. Петровец, Т. Ф. Персикова // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 т. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 67–78.
3. Белинский, А. В. Разработка теории и технических средств для поверхностного внесения удобрений и мелиорантов: дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Белинский. – Казань, 2005. – 398 с.

4. Забродин, В. П. Контроль и управление процессами внесения минеральных удобрений / В. П. Забродин. – Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2003. – 124 с.

5. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Саун. – 2-е изд. – М.: Колос, 1980. – 671 с.

6. Нукешев, С. О. Катушечно-штифтовый туковсевающий аппарат / С. О. Нукешев, С. К. Тойгамбаев, Н. Н. Романюк, А. М. Сугирбай // Теоретические и практические вопросы современной науки: сб. науч. работ 7 науч. конф. ЕНО / Евразийское научное объединение. – № 7. – М., 2015. – С. 24–27.

УДК 631.363

Поступила в редакцию 16.07.2018

Received 16.07.2018

**Л. Я. Степук<sup>1</sup>, В. Р. Петровец<sup>2</sup>, Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: belagromech@tut.by

<sup>2</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Республика Беларусь

email: petrovec\_vr@mail.ru

## **ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ БУНКЕРОВ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ДОЗИРОВАНИЯ**

Приведены методики расчета вместимости бункеров-накопителей исходных компонентов, наддозаторных бункеров, бункеров-накопителей готовой продукции, а также специализированных бункеров, выполняющих не только роль накопителя компонента, но и роль емкости, в которой происходят процессы, изменяющие свойства того же компонента.

*Ключевые слова:* кормоцех, поточная линия дозирования, вместимость бункеров, расчет.

**L. J. Stepuk<sup>1</sup>, V. R. Petrovec<sup>2</sup>, N. D. Lepeschkin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: belagromech@tut.by

<sup>3</sup>Educational Institution «Belarusian State Agricultural Academy»

Gorki, Republic of Belarus

email: petrovec\_vr@mail.ru

## **JUSTIFICATION OF CAPACITY BUNKERS OF STREAMING DOSE LINES**

The methods for calculating the capacity of storage bunkers of initial components, over-hopper bins, storage hoppers of finished products, as well as specialized bins that fulfill not only the role of the component storage ring, but also the role of the capacity in which processes that change the properties of the same component occur.

*Keywords:* feeder, flow dosing line, hopper capacity, calculation.

### **Введение**

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» на протяжении многих лет выполняло и продолжает выполнять различные комплексные задания государственных научно-технических программ республиканского уровня и программ Союзного государства, конечной целью которых является разработка технологий и комплектов оборудования получения полидисперсных сельскохозяйственных материалов. Достаточно назвать семейство комплектов оборудования кормоцехов КОРК для производства рассыпных кормосмесей для различных половозрастных групп крупного рогатого скота и овец, приготовления полнорационных комбикормов для животных, ценных пород рыб и пушных зверей в условиях сельскохозяйственных предприятий, комплексных минеральных и концентрированных протеиновых добавок с использованием местного сырья.