

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗБРАСЫВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ СПОСОБОМ

### MATHEMATICAL MODEL OF SPREADING FERTILIZERS CENTRIFUGALLY

Валерий Адамчук<sup>1</sup>, Вадим Яременко<sup>2</sup>, Николай Борис<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный научный центр “Институту механизации и электрификации сельского хозяйства” Национально академии аграрных наук Украины, Ул. Вогзальна 11, район Василькив, Киевская область – 08631, Украина  
E-mail: nnc-imesg@ukr.net

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины ул. Героев обороны 15, Киев-03041, Украина.

<sup>3</sup>Подольский государственный агротехнический университет Украины Каменец Подольский-32300, ул. Шевченко 13, Украина  
E-mail: imesg@rambler.ru

*Получено 2013-03-21, вручено в печать 2013-06-12*

В статье изложены результаты теоретических исследований рассеивания минеральных удобрений центробежными рабочими органами машин для их внесения, а также подтверждения основных теоретических положений экспериментальным путем. Исследования включают изучение процесса подачи удобрений на рассеивающие рабочие органы, взаимодействие рабочих органов с удобрениями при их захвате, разгон удобрений центробежным способом, движение удобрений от рассеивающих органов в воздушной среде с учетом ветра и сопутствующего воздушного потока до поверхности почвы, а также распределение удобрений на почве в пределах ширины захвата машины.

*Математическая модель, центробежные рабочие органы, распределение удобрений, минеральные удобрения.*

### **Введение**

На рынках сельскохозяйственной техники ведущих стран мира среди технических средств для внесения минеральных удобрений и химмелиорантов доминируют машины, оборудованные центробежными рассеивающими рабочими органами. Их доля составляет более 95% [1]. Показатели эффективности эксплуатации таких машин в значительной степени зависят от работы рассеивающих органов.

Центробежные рассеивающие рабочие органы, начиная с их применения в первой половине прошлого столетия, стали объектом исследований многих ведущих отечественных и зарубежных ученых, а также конструкторских улучшений, которые осуществляли и осуществляют разработчики новой техники [2-4]. За неравномерность внесения минеральных удобрений на общей и рабочей ширине захвата машин для их рассева принимают значения коэффициента вариации массы удобрений, попавших в отдельные ящики для сбора удобрений, имеющие размер  $0,5 \times 0,5$  м, и которые установлены на общей ширине захвата в сплошной ряд, перпендикулярный к направлению движения агрегата [1].

### **Состояние вопроса**

Показатели качества внесения удобрений зависят от их физико-механических свойств, условий работы агрегата, типа рабочих органов машины и параметров и режимов их работы. Влияние названных факторов на качество внесения удобрений оценивают исключительно экспериментальным путем. Этот способ требует значительных материальных затрат, трудоемкий, занимает много времени и ограничен погодными условиями.

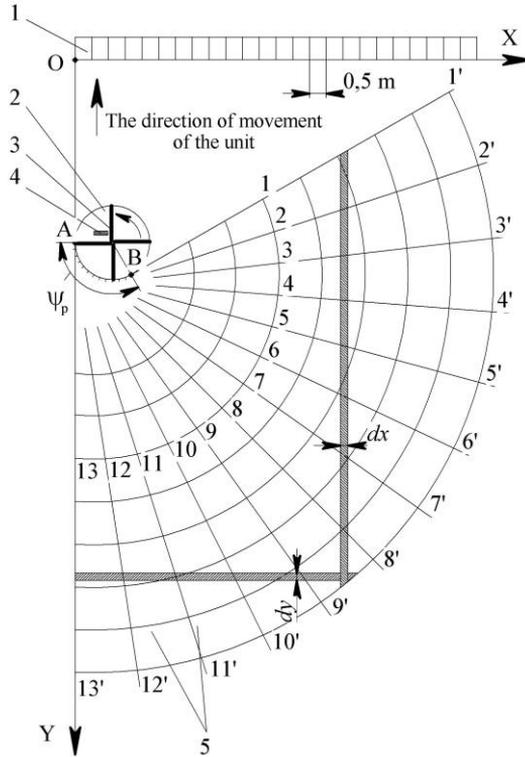
### **Методика исследований**

Моделирование внесения твердых минеральных удобрений машинами, оборудованными рассеивающими органами, можно осуществлять следующим образом.

В зону общей ширины захвата (рис. 1), что соответствует ее правой или левой половине, высеваются удобрения, которые сходят с рассеивающего рабочего органа в рамках рабочей дуги, т.е.  $\cup AB$ , соответствующей рабочему углу  $\psi_p$ . Названная рабочая дуга разделена на двенадцать равных частей и с их концов проведены тринадцать лучей  $(1-1^1) - (13-13^1)$  в направлениях векторов абсолютных скоростей схождения удобрений с рассеивающего рабочего органа. При этом сделано предположение, что все частицы данного вида удобрений, которые сходят в пределах  $\cup AB$ , имеют одинаковые:

- абсолютную скорость схода частицы удобрений с рассеивающего рабочего органа;
- угол между вектором указанной скорости и горизонтальной плоскостью.

Таким образом, получена проекция веера рассева удобрений в плане на половине общей ширины захвата, которая включает двенадцать секторов. В процессе работы машины в секторах веера рассева удобрения непрерывно движутся от рассеивающего рабочего органа к поверхности поля.



**Рис. 1.** Схема модели рассеивания минеральных удобрений: 1 – ряд лотков для сбора удобрений; 2– РО; 3 – лопатка; 4 – зона питания РО; 5 – ячейка

**Fig. 1.** The scheme dispersion model of fertilizer: 1 - row of boxes 2 - seeded working body, 3 - blade 4 - feed zone of the working body, 5 - cell

Со середины  $\cup AB$  в пределах полученного веера рассева удобрений через каждые 0,5 м проведены дуги концентрических окружностей. При этом наименьшая дуга будет иметь радиус  $l_n$ , а наибольшая –  $L_{nmax}$  (максимальная дальность рассева удобрений). Разность между радиусами соседних дуг является постоянной величиной и равна длине стороны стандартного ящика для сбора удобрений  $l_n = 0,5\text{ м}$  [1].

Лучи и дуги делят веер рассева удобрений на элементарные ячейки 5, которые соответственно имеют площади  $S_{k1}, \dots, S_{kj}$ . Условное движение ячеек 5, за направлением движения агрегата над рядом лотков 1 для сбора удобрений и со скоростью равной  $U_a$ , воспроизводит основные условия отбора проб удобрений в реальных условиях по стандартной методике.

Каждый элементарный участок ячейки 5, имеющей длину  $dy$ , находится над соответствующим лотком для сбора удобрений 1 определенное время, значение которого будет равно:

$$t_{bn} = \frac{l_n}{v_a}, \quad (1)$$

где  $t_{bn}$  – время высева удобрений из элементарного участка веера рассева в стандартный лоток

для сбора удобрений, с;  $l_n = 0,5$  м – длина стандартного лотка для отбора проб удобрений при определении неравномерности их внесения [1];  $v_a$  – рабочая скорость движения агрегата, м/с.

За время  $t_{bn}$  питатель подает удобрения из технологической емкости к рассеивающим рабочим органам. Относительно половины рабочей ширины захвата машины их масса будет:

$$q_y = 0,5v_n b_n h \gamma t_{bn}, \quad (2)$$

где  $q_y$  – масса удобрений, которая рассеивается на половине рабочей ширины захвата машины за время  $t_{bn}$ , кг.

### Результаты исследований

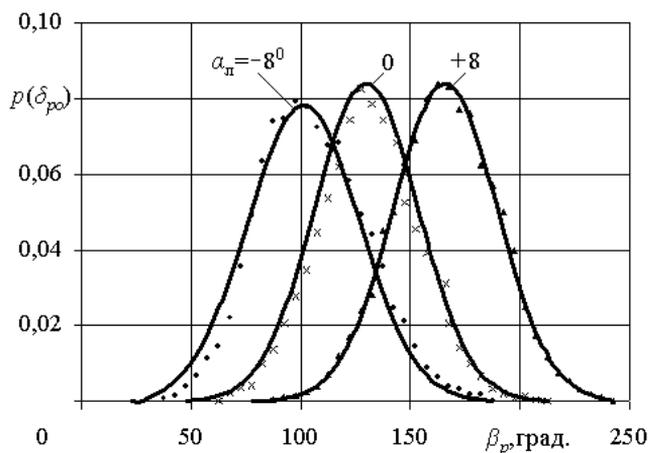
Определим массы удобрений, которые проходят через каждую ячейку 5 за время  $t_{en}$ .

Предположим, что вся масса удобрений сходит с рассеивающего рабочего органа в пределах  $\cup AB$ ; потоки удобрений, которые сходят с каждой двенадцатой части  $\cup AB$ , имеют такой же гранулометрический состав, как и вся их масса  $q_y$ .

Закономерность распределения удобрений в пределах  $\cup AB$  устанавливают экспериментальным путем. Например, полученные результаты для нитроаммофоски приведены на рис. 2.

Деление массы удобрений  $q_y$  по двенадцати участкам  $\cup AB$  необходимо осуществлять в соответствии с полученными результатами экспериментальных исследований.

Каждая из двенадцати полученных масс удобрений рассеивается в пределах определенного сектора веера рассева, проходя через его ячейки. Массы удобрений  $q_{\kappa 1}, \dots, q_{\kappa j}$ , которые за время  $t_{bn}$  проходят через каждую ячейку веера рассева удобрений, необходимо определять по результатам экспериментальных исследований характера распределения удобрений по поверхности поля в направлении их рассева.



**Рис. 2.** Зависимость функции плотности вероятности схождения нитроаммофоски с рассеивающего рабочего органа в пределах его рабочей дуги  $p(\delta_{po})$  от угла разгона  $\beta_p$  и угла установки лопаток  $\alpha_n$

**Fig. 2.** The dependence of the probability density function vanishing with NPK seeded authority within its working arc  $p(\delta_{po})$  of the angle acceleration  $\beta_p$  and angle of the blades  $\alpha_n$

Закономерность распределения удобрений по направлению их рассева можно записать в виде уравнения регрессии такого вида [11]:

$$\delta_{\partial i} = A_0 A_1^{n_i} A_2^{n_i^2} A_3^{n_i^3} A_4^{n_i^4}, \quad (3)$$

где  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  – коэффициенты уравнения регрессии;  $n_i$  – номер  $i$ -го лотка для сбора удобрений.

Для проведения следующего этапа исследований примем следующие допущения:

- закономерность распределения удобрений по направлению их рассева не зависит от дозы внесения удобрений и является постоянной для данного их вида;

- закономерность распределения удобрений по направлению рассева в стандартные лотки для сбора удобрений адекватная закономерности их распределения на участках поля, которые совпадают с лотками по расположению, площади и форме.

Значения коэффициентов регрессии уравнения (3) относительно основных видов минеральных удобрений были определены для созданного рассеивающего органа и они приведены в таблице.

На элементарную площадь  $i$ -й ячейки  $\Delta S_{ki}$  поступает элементарная масса удобрений  $\Delta q_{ki}$ . Предположим, что относительно каждой ячейки имеет место равенство отношений:  $q_{ki} : S_{ki} = \Delta q_{ki} : \Delta S_{ki}$ .

**Таблица.** Значения коэффициентов регрессии для различных видов минеральных удобрений

**Table.** The values of the regression coefficients for different types of fertilizers

Минеральные удобрения	Значения коэффициентов регрессии				
	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
Селитра аммиачная	0,2400965	1,4715960	0,9688723	1,0016088	0,99996173
Суперфосфат гранулированный	0,4218391	1,1738055	0,9920847	1,000274	0,9999964
Калийная соль	2,6462138	1,8973953	0,9118595	1,0037792	0,9999505
Нитроаммофоска	0,4218391	1,1738055	0,9920847	1,0002724	0,9999964

При отборе проб удобрений по стандартной методике имеет место непрерывное их высевание в каждый лоток 1 для сбора удобрений, состоящий из соответствующих элементарных участков, имеющих ширину  $dx$  веера рассеивания удобрений. Проекция названных элементарных участков с шириной  $dx$  на ось абсцисс находятся в пределах координат соответствующих лотков 1:

$$x_{in} = (n_i - 1)l_n, \quad (4)$$

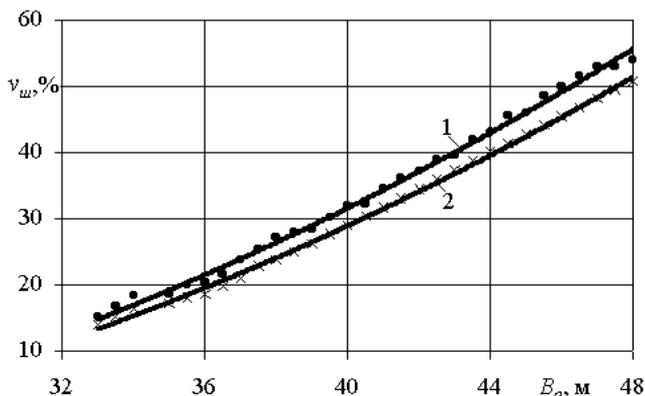
$$x_{ik} = n_i l_n, \quad (5)$$

где  $x_{in}$ ,  $x_{ik}$  – соответственно координаты начала и конца  $i$ -го лотка 1 для сбора удобрений по оси  $OX$ , м;  $n_i$  – номер  $i$ -го лотка для сбора удобрений по направлению рассеивания удобрений рассеивающего рабочего органа.

Разделим каждую ячейку 5 на элементарные квадраты. Определим массы удобрений по каждой ячейки, которые за время  $t_{bn}$  проходят через их элементарные квадраты. Для определения характера распределения удобрений рассеивающим рабочим органом на половине общей ширины захвата машины определим массу удобрений, поступивших через ячейки веера рассеивания попадут в соответствующие лотки для сбора удобрения. Предположим, что на второй половине общей ширины захвата машины характер распределения удобрений относительно продольной оси агрегата аналогичный установленному. Таким образом, устанавливают закономерность распределения удобрений на общей ширине захвата машины. После этого определяют неравномерность внесения удобрений на общей и рабочей ширине захвата машины с использованием стандартной методики [5].

Приведенную модель целесообразно использовать при физическом моделировании посева удобрений с использованием специального устройства, например, приведенном в работе [6], или при имитационном моделировании процесса внесения удобрений. Научные основы посева минеральных удобрений центробежным аппаратом приведены в [7-11]. Сравнение результатов лабораторно-полевых исследований и результатов физического моделирования процесса внесения удобрений показало, что они удовлетворительно согласуются (рис. 3). Разница между ними не превышает 8,9%. Ее существование можно объяснить тем, что в процессе физического моделирования внесе-

ния удобрений их распределяли в пределах каждой ячейки не по нормальному закону, а равномерно по всей ее плоскости.



**Рис. 3.** Зависимость неравномерности внесения нитроаммофоски 1, 2 – соответственно по результатам физического моделирования и лабораторно-полевых исследований экспериментального образца машины

**Fig. 3.** The dependence of the non-uniformity of making NPK working width of the machine: 1, 2 -, respectively, as a result of physical modeling laboratory and field studies of experimental models of machines

Кроме того, предварительно, путем моделирования, были получены результаты исследований машин, оборудованных экспериментальными образцами рассеивающих рабочих органов, которые в дальнейшем были подтверждены результатами лабораторно-полевых исследований. В частности, на внесении гранулированных видов удобрений общая ширина захвата машины составляет более 50 м. Однако неравномерность внесения удобрений даже при 48,0 м значительно превышает допустимую агрономическими требованиями, например, на внесении нитроаммофоски она составляет более 50%. Ее уменьшение можно достичь путем выбора рабочей ширины захвата меньше, чем общая ширина захвата.

### Выводы

Внесение нитроаммофоски с неравномерностью до 20 % машина обеспечивает на рабочей ширине захвата 36 м, а внесение с неравномерностью 14 % – на рабочей ширине почти 33 м. Следовательно, для обеспечения внесения гранулированных видов удобрений с неравномерностью до 20 % рабочая ширина захвата должна быть меньше общей в 1,4 раза, а для внесения удобрений с неравномерностью до 15 % это соотношение должно быть не менее 1,6. Кроме того, по результатам исследований установлено, что эти соотношения составляют относительно мелкокристаллических видов удобрений и химмелиорантов соответственно 1,6 и 1,8.

Применение предложенной модели позволяет исключить необходимость проведения исследований, как это делали до сих пор, с использованием натуральных образцов машин для изучения влияния конструкции, создаваемых

новых рассеивающих рабочих органов на показатели внесения удобрений. В результате такой подход обеспечит сокращение сроков проведения научно-исследовательских работ по созданию новых рассеивающих органов, удешевит проведение работ и исключит зависимость их проведения от метеорологических условий.

### Список литературы

1. Scheuffle, B.; Bolwin, H. Einsatzempfehlungen für die Minereraldüngung unter Grossflächenbedingungen. *Agrartechnik* (Berlin). 1991. 41, № 3. S. 14-116.
2. Fertilizer distributors tested and demonstrated. *Farm Mechaniz.* 1965. 17, № 195. P. 36-37, 40-42.
3. Frick Rainer. Ergebnisse der Umfrage. *Schweiz. Landtechn.* 2001. 63, № 6. S. 4-6.
4. Mathes, A. Breitstreuer oder Schleuderstreuer. *Landtechnik.* 1960. 15, № 17. S. 574-576.
5. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытания. ГОСТ 28714-90. Москва: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. 18 с.
6. Пат. № 55538 Украина, МКВ А 01 С 15/00. Устройство для определения распределения сыпучих материалов по ширине захвата центробежных разбрасывателей. Адамчук В.В. (Украина), Институт механизации и электрификации сельского хозяйства (Украина). № 20001167554 заяв. 28. 11. 2000; Опубл. 15. 04. 03. Бюл. № 4.
7. Василенко, П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. П.М. Василенко. Киев: УАСХН, 1960. 283 с.
8. Адамчук, В.В. Исследование общего случая разгона минеральных удобрений центробежным рассеивающим органом. Адамчук В.В. *Вестник аграрной науки.* К., 2003. № 12. С. 51-57.
9. Адамчук, В.В. Исследование зависимости дальности полета минеральных удобрений от угла наклона лопаток рассеивающих органа в горизонтальной плоскости. Адамчук В.В., Моисеенко В.К. *Межведомственный тематический науч. сборник "Механизация и электрификация сельского хозяйства"*. Глеваха: ННЦ "ИМЕСГ", 2004. Вып. 88. С. 23-36.
10. Адамчук, В.В. Исследование движения частицы по плоскому диску, который вращается вокруг перпендикулярной оси, наклоненной к горизонту. Адамчук В.В., Булгаков В.М. и др. *Вестник Львовского национального аграрного университета: агроинженерные исследования.* М.: Львов. нац. аграрн. ун-т, 2008. № 12 (2). С. 189-197.
11. Адамчук, В.В. Теория центробежных рабочих органов машин для внесения минеральных удобрений / В.В. Адамчук. Киев: Аграрна наука, 2010. 177 с.

Valerij Adamchuk, Vadim Jaremenko, Nikolaj Boris

## MATHEMATICAL MODEL OF SPREADING FERTILIZERS CENTRIFUGALLY

### Summary

The paper presents the results of theoretical investigations dissipation fertilizer centrifugal working organs machines of their introduction, as well as confirmation of the basic theoretical principles experimentally. Research includes the study of the application process for sowing fertilizer bodies of interaction of working with fertilizers for their capture, acceleration fertilizer centrifugal method, movement of fertilizers from dissipates in the air with the wind and the accompanying air flow to the surface of the soil, as well as the distribution of fertilizers in the soil within the machine width.

*Mathematical model, centrifugal working bodies, the distribution of fertilizers, mineral fertilizers.*

Valerij Adamčuk, Vadim Jaremenko, Nikolaj Boris

## MINERALINIŲ TRĄŠŲ IŠBARSTYMO IŠCENTRINIŲ BŪDU MATEMATINIS MODELIS

### Santrauka

Pasaulinėje žemės ūkio technikos rinkoje 95 % mineralinių trąšų įterpimo technikos sudaro mašinos su išcentriniais trąšų išsėjimo aparatais. Šių mašinų eksploatacijos rodiklių efektyvumas labai priklauso nuo išsėjimo aparatų darbo.

Straipsnyje pateikiami išcentrinių mineralinių trąšų barstytuvų teorinių tyrimų rezultatai bei jų pagrįstumo patvirtinimas eksperimentiniais tyrimais. Atlikti tyrimai apima mineralinių trąšų tiekimo ant barstytuvo darbinių dalių, trąšų ir darbinių dalių tarpusavio sąveikos darbiniam plotyje, išbarstymo išcentrinio būdu, trąšų judėjimo erdvėje nuo darbinių dalių įvertinant vėjo ir oro srauto iki dirvos paviršiaus įtaką, o taip pat trąšų paskleidimo dirvoje visu mašinos darbinio pločiu tyrimus.

*Matematinis modelis, išcentrinės darbinės dalys, trąšų paskleidimas, mineralinės trąšos.*