

УДК 631.879:631.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАТУШЕЧНОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Л. Степук, д-р техн. наук, проф., Э. Дыба, канд. техн. наук,  
П. Бегун, канд. техн. наук, В. Микульский, аспирант,  
Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический  
центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского  
хозяйства»*

*В статье приводятся результаты экспериментальных исследований влияния конструктивных параметров нового катушечного высевающего аппарата на равномерность дозирования минеральных удобрений.*

**Ключевые слова:** минеральные удобрения, штанговые распределяющие рабочие органы, неравномерность внесения, катушечные дозирующие устройства, экспериментальные исследования.

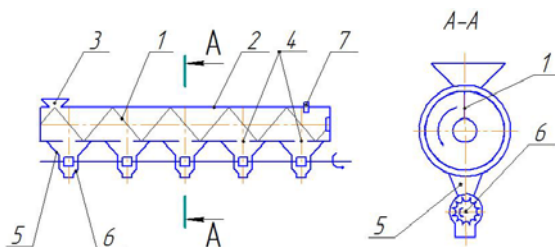
**Постановка проблемы.** В результате высокой неравномерности распределения твердых минеральных удобрений по полю существующими дисковыми распределяющими рабочими органами, доля которых в парке машин нашей страны составляет почти 100 %, мы недобираем от 2 до 4 ц зерна с каждого гектара. [1, с. 17].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В результате многочисленных исследований по изысканию рациональной конструкции распределяющих рабочих органов РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработаны высокоточные штанговые распределяющие рабочие органы, которые реализованы в прицепной машине для внесения основных и подкормочных доз твердых минеральных удобрений МШВУ-18 и навесном подкормщике РШУ-18 [1, с. 269 – 380].

Использование штанговых распределителей по сравнению с дисковыми, позволяют до минимума свести влияние различных факторов, влияющих на неравномерность распределения удобрений по полю. Это неровность рельефа поля, ветер, положение распределяющих рабочих органов относительно поверхности поля, физико-механические свойства удобрений, в том числе и их гранулометрический состав.

Штанговый распределитель (рис. 1) представляет собой винтовой конвейер, включающий винт 1, кожух 2 с загрузочной горловиной 3. В нижней части кожуха 2 выполнены выпускные отверстия 4, под которыми закреплены накопительные емкости 5 с катушечными высевающими

аппаратами 6. Над крайним от загрузочной горловины 2 выпускным отверстием 4 штанги установлен датчик 7 уровня удобрений [2].



- 1 – винт; 2 – кожух; 3 – загрузочная горловина; 4 – выпускные отверстия;  
5 – накопительные ёмкости; 6 – катушечный высевочный аппарат;  
7 – датчик уровня удобрений

Рисунок 1 – Принципиальная схема штангового распределяющего рабочего органа

Работает штанговый распределитель следующим образом. Отдозированный поток удобрений из кузова (бункера) машины поступает в загрузочную горловину 3 винтового конвейера, где захватывается вращающимся винтом, и перемещает их к концу штанги. Проходя над выпускными отверстиями 4, удобрения просыпаются в накопительные емкости 5. При достижении максимальной высоты слоя удобрений в штанге датчик 7 подает сигнал на отключение привода винта. При включении привода катушечных высевочных аппаратов машина начинает движение с заданной скоростью. Удобрения из накопительных емкостей 5 катушечными высевочными аппаратами 6 дозируются и выносятся на поверхность поля.

Однако, как показали исследования, катушечные высевочные аппараты, состоящие из корпуса и дозирующих катушек с желобками, расположенными по диагонали относительно оси вращения, имеют недостатки. Дозирующие катушки, изготовленные из эластомера (резиновый материал) для перемещения удобрений в корпусе высевочного аппарата только принудительным потоком без активного слоя, имеют высокую адгезию, и высокий коэффициент внешнего трения (по резине), из-за чего происходит залипание желобков катушек удобрениями повышенной влажности. Кроме того, вследствие защемления гранул удобрений между ребрами желобков вращающейся катушки и передней гранью загрузочного окна, выполненного в верхней части корпуса высевочного аппарата, происходит разрушение гранул, сопровождающееся деформацией ребер желобков катушки, что приводит к постоянному изменению объема самих желобков. Поэтому наблюдается выраженный пульсирующе-порционный высеv удобрений и, как следствие – относительно высокая неравномерность распределения удобрений по полю. Особенно это заметно при малой частоте вращения катушки ( $2-4 \text{ мин}^{-1}$ )

**Цель исследования** – провести экспериментальные исследования разработанного катушечного высевающего аппарата для внесения твердых минеральных удобрений.

**Изложение основного материала исследования.** Катушечные высевающие аппараты являются главными элементами штанговых распределяющих рабочих органов машин РШУ-18 и МШВУ-18, РМУ-8000 и РМУ-11000, и необходимы для посева заданных доз удобрений равномерным потоком. Конструкция рабочих органов катушечного высевающего аппарата должна формировать поток материала на выдачу строго определенных размеров и постоянной плотности.

Исследуя технологический процесс работы известных конструкций катушечных высевающих аппаратов для посева минеральных удобрений [3-5] и анализируя их работу, было сделано заключение, что все катушечные аппараты дозируют и высевают удобрения не только желобками катушек, но и перемещают некоторый концентрически расположенный вокруг катушки слой удобрений (активный слой). При этом толщина активного слоя при вращении катушки непостоянная и зависит от коэффициента внутреннего трения, гранулометрического состава удобрений и окружной скорости катушки.

В настоящее время в сельском хозяйстве нашей страны применяют около 30 наименований минеральных удобрений (гранулированные, крупно-, мелкокристаллические, порошковидные, пылевидные) Условия хранения их зачастую не соответствуют требованиям гарантирующим неизменность их физико-механических свойств.

Всё сказанное выше, безусловно, негативно сказывается на неравномерности дозирования, а следовательно и на качестве внесения удобрений.

На основании проведенных поисковых исследований нами разработан катушечный дозатор (высевающий аппарат) (рис. 2), который содержит корпус 1 с загрузочным окном 2 и разгрузочным окном 3 и желобковую катушку 4 с зазором  $\varepsilon$  между наружным диаметром  $D$  желобковой катушки 4 и внутренней поверхностью корпуса 1 высевающего аппарата равным или меньше минимального размера гранул минимальной фракции дозируемого удобрения. На желобковой катушке 4 посередине выполнен паз 5, разделяющий желобки катушки 4 на две полукатушки 6, шириной  $B$ . Рёбра 7 желобков полукатушек 6 выполнены по винтовой линии под углом  $\alpha$ , направлены навстречу друг к другу и смещены относительно друг друга на половину центрального угла  $\delta$  желобка катушки 4. В корпусе 1 в первом квадранте индифферентно пазу установлена перегородка 8. Передняя часть загрузочного окна 2 корпуса 1 выполнена в виде равнобедренной трапеции, ширина передней грани 9 которой (вершина трапеции) равна ширине  $B$  паза

5, а угол наклона боковых сторон 10 трапеции равен  $\beta$  и определяется по выражению:

$$\beta = 2\varphi - \alpha, \text{ при } \alpha \leq 2\varphi, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – угол трения удобрений о боковую поверхность грани загрузочного окна корпуса, град;

$\alpha$  – угол наклона ребер желобков полукатушек к ее осевой линии, град, который определяется по выражению:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{D \cdot \sin(\delta/2)}{l} \cdot n\right) \geq \gamma, \quad (2)$$

где  $D$  – внешний диаметр катушки, мм;

$\delta$  – центральный угол желобка катушки, град;

$n$  – постоянное количество задействованных ребер желобков катушки, пересекающие плоскость  $bb'$ , проходящую через ось вращения катушки;

$l$  – ширина одной полукатушки, мм;

$\gamma$  – угол естественного откоса удобрений, град.

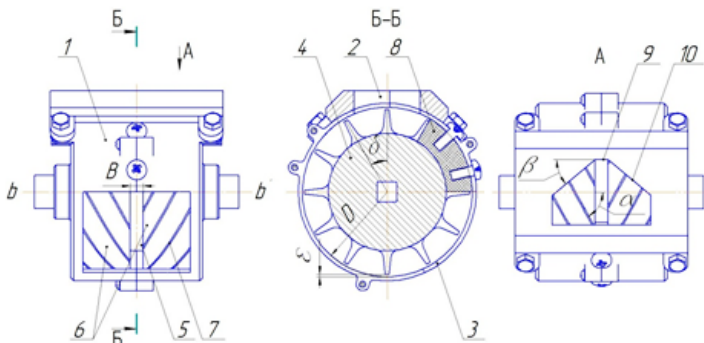


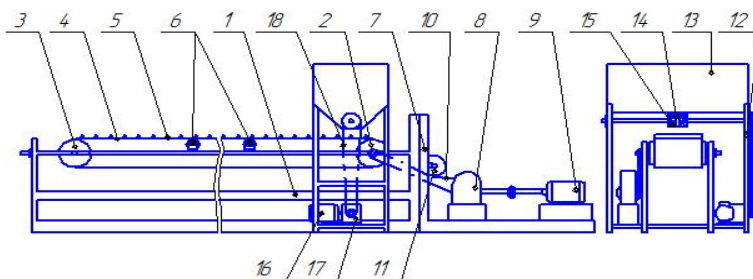
Рисунок 2 – Схема экспериментального высевающего аппарата

Высевающий аппарат работает следующим образом. При вращении катушки 4 (рис. 2) удобрения поступают в паз 5 и желобки полукатушек 6. Частицы удобрений, которые попали между ребрами 7 желобков полукатушек 6 и боковой стороной 10 трапеции загрузочного окна 2 корпуса 1, смещаются в сторону паза 5, и попадают в него. Тем самым предотвращается разрушение гранул. Далее сформированные в пазу 5 и желобках катушки 4 удобрения перемещаются к выгрузному окну 3, выполненному в нижней части корпуса 1 и вытекают через него.

Предполагается, что выполнение ребер желобков полукатушек по винтовой линии под углом  $\alpha$ , с относительным смещением их на угол равный половине

центрального угла  $\delta$  желобка полукатушки обеспечит равномерную подачу удобрений по всей ширине выгрузного окна и предотвратит повреждение гранул удобрений в нижней части корпуса за счет перемещения их вдоль ребер желобков полукатушек в сторону паза. Кроме того, в такой конструкции можно изготавливать дозирующие катушки из пластических масс (например, из полиуретана), которые по сравнению с резиной более износостойки и имеют лучшие адгезионные свойства, исключая налипание материала в желобках.

При проведении экспериментальных исследований ставилась задача обосновать угол наклона  $\alpha$  ребер полукатушки и ширину паза  $B$  катушки, при которой будет минимальная неравномерность, для чего была создана экспериментальная установка (рис. 3). Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 4.



**Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки**

- 1 – рама ленточного конвейера; 2 – приводной барабан; 3 – натяжной барабан;  
 4 – лента; 5 – прорезиненные полосы; 6 – поддерживающие ролики;  
 7 – рама привода ленточного конвейера; 8 – редуктор привода ленты;  
 9, 16 – электродвигатели; 10, 18 – цепная передача; 11 – натяжной ролик;  
 12 – рама привода катушечного дозатора; 13 – бункер;  
 14 – катушечный высеивающий аппарат; 15 – дозирующая катушка;  
 17 – редуктор привода катушечного дозатора



**Рисунок 4 – Общий вид экспериментальной установки**

Экспериментальная установка, представляет собой ленточный конвейер, смонтированный на специальной раме, с приводом, позволяющим изменять линейную скорость ленты в широком диапазоне и экспериментальный катушечный высевающий аппарат с индивидуальным приводом, смонтированным на дополнительной раме (рис. 3). Скорость движения ленточного конвейера, подобрана с таким расчетом, чтобы при перемещении агрегата по полю на 0,5 м лента перемещалась в сторону, обратную движению машины, на ячейку (13,6 см), что соответствует скорости перемещения машины 8 км/ч.

Привод дозирующей катушки осуществляется от электродвигателя 16 через девятиступенчатый редуктор 17 цепной передачи 18. Производительность дозатора регулируется изменением частоты вращения катушки посредством девятиступенчатого редуктора 17.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены с помощью 3D принтера различные варианты дозирующих катушек (рис. 5). В том числе с углом наклона ребер 0, 15, 30, 45, 60 град, и шириной паза 20, 15, 10, 5 мм.

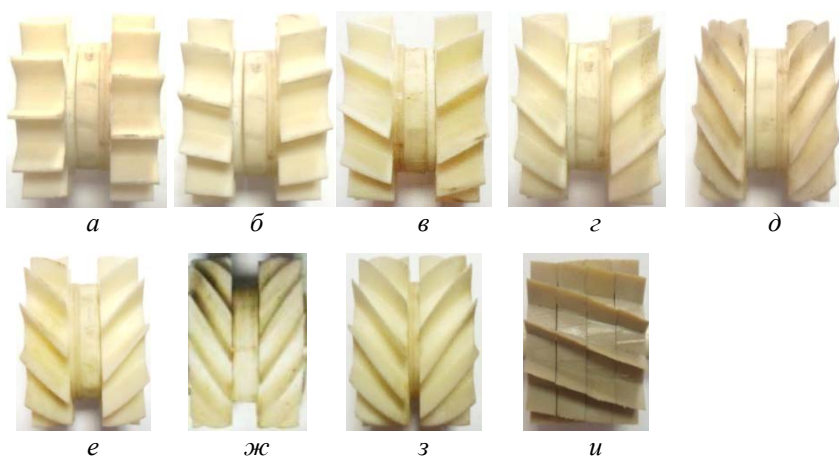


Рисунок 5 – Экспериментальные дозирующие катушки

*а, б, в, г, д – дозирующие катушки с шириной паза  $B=20$  мм и углом наклона ребер желобков соответственно 0, 15, 30, 45, 60 град; е, ж, з – дозирующие катушки с углом наклона ребер желобков 60 град и шириной паза соответственно 15, 10, 5 мм; и – базовая катушка изготовленная из эластомера (резинový материал) с углом наклона ребер желобков 22 град*

Порядок работы следующий. Включали привод ленточного конвейера до того момента, когда крайняя передняя ячейка займет исходное положение (примерно за 0,5 м до точки высыпания удобрений из катушечного высевающего аппарата). Затем включали привод катушки. В момент, когда из катушки начинало поступать удобрение на ленту, включали привод ленточного конвейера.

Для отбора проб на ленту конвейера наклеивали с определенным шагом полоски прорезиненного материала, которые образовывали на ней своеобразные ячейки. Отбор проб удобрений осуществляли путем сметания их с ленты, с соответствующих ячеек. Затем пробы взвешивали на электронных весах с точностью до 0,01 г.

Коэффициент вариации определяли по формуле:

$$v = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

где  $\bar{X}$  – среднее значение измеряемой величины, г;

$X_i$  – текущее значение измеряемой величины, г;

$n$  – количество проб отобранных с ленты.

Исследование дозирующей катушки проводилось на аммиачной селитре, мелко-кристаллическом хлористом калии и суперфосфате.

По результатам исследований построены и отражены в статье графики (рис. 6, 7) опытных зависимостей неравномерности подачи только для аммиачной селитры катушечным высевающим аппаратом от частоты вращения катушки при углах наклона ребер желобков 0, 15, 30, 45, 60 град и ширине паза 20 мм. Диапазон частот вращения дозирующей катушки, при которых проводились исследования, находились в пределах от 7,12 до 14,66 мин<sup>-1</sup>.

Анализ графиков (рис. 6, 7) показывает, что наименьшая неравномерность дозирования аммиачной селитры достигается дозирующей катушкой с углом наклона ребер желобков 60°. Объясняется это следующим.

По результатам многочисленных теоретических и экспериментальных исследований [6-9], доказано, что расположение ребер желобков катушки под углом, обеспечивает более равномерную выдачу удобрений по всей ширине выгрузного окна. Причем для достижения высокой равномерности дозирования удобрений некоторые исследователи считают, что первый желобок левого торца катушки должен выходить на второй желобок правого торца. Это означает, что при полном опорожнении одного желобка начинается выпуск из последующего. В нашем случае угол наклона ребер желобков несколько превышает теоретический угол, при котором должна наблюдаться наиболее высокая равномерность дозирования удобрений, что является предметом отдельного научного исследования.

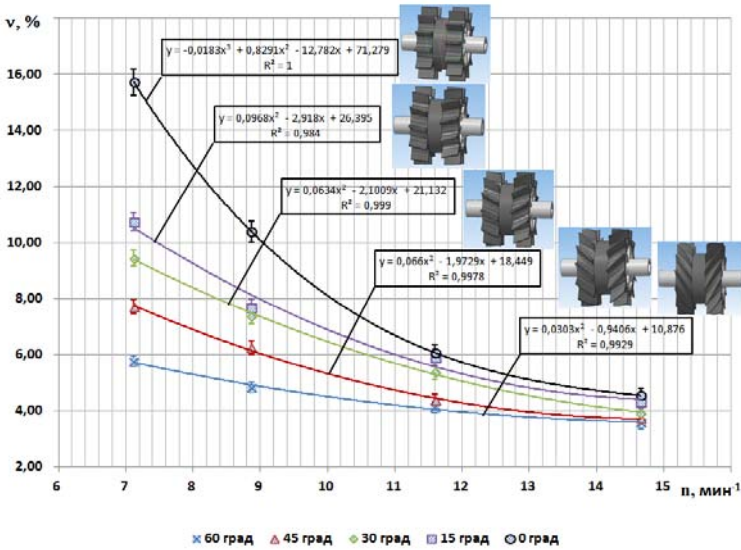


Рисунок 6 – Зависимость неравномерности распределения аммиачной селитры катушечным высевающим аппаратом от частоты вращения катушки при различных углах наклона ребер желобков катушки и ширине паза  $B=20$  мм

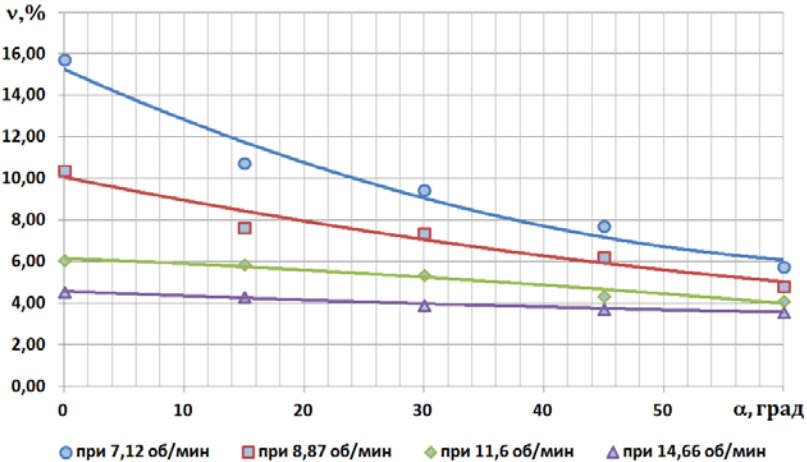


Рисунок 7 – Зависимость неравномерности распределения аммиачной селитры от угла наклона ребер желобков катушки, при различных скоростях её вращения и ширине паза  $B=20$  мм



Кроме того, с увеличением угла наклона ребер желобков катушки, предотвращается повреждение гранул удобрений в нижней части корпуса за счет перемещения их вдоль ребер желобков катушки в сторону паза, под действием сил внешнего трения о боковую поверхность ребра желобка катушки (рис. 8).

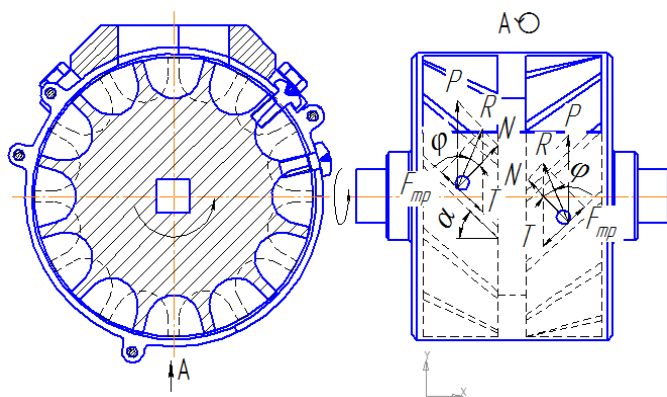


Рисунок 8 – Схема сил, действующие на гранулы удобрений в нижней части катушечного высевающего аппарата

Поскольку коэффициент внешнего трения в соответствии с рисунком равен

$$\alpha = \frac{F_{mp}}{N} = \frac{Nf}{N} = f, \quad (4)$$

следовательно, угол, образуемый нормалью к ребру желобка катушки  $N$  и реакцией  $R$ , очевидно, не должен быть меньше угла трения, для того чтобы гранулы могли перемещаться в сторону паза. Но так как частицы минеральных удобрений повышенной влажности, особенно пылевидные, предрасположены к налипанию на рабочую поверхность желобка катушки, то здесь лучше принять вместо угла трения удобрений о рабочую поверхность желобка катушки, угол, равный углу естественного откоса. Отсюда можно сделать вывод, что  $tg\alpha \geq tg\varphi$  и  $\alpha$  должен быть выбран из условий высева удобрений, имеющего наибольший угол естественного откоса и, следовательно, обладающий наименьшим коэффициентом внутреннего трения между его частицами.

Кроме того, проведены эксперименты по определению неравномерности подачи аммиачной селитры катушечным высевающим аппаратом от частоты вращения дозирующей катушки при ширине паза 5, 10, 15, 20 мм и угле

наклона ребер желобков катушки  $60^{\circ}$ . Результаты представлены на графиках (рис. 9, 10).

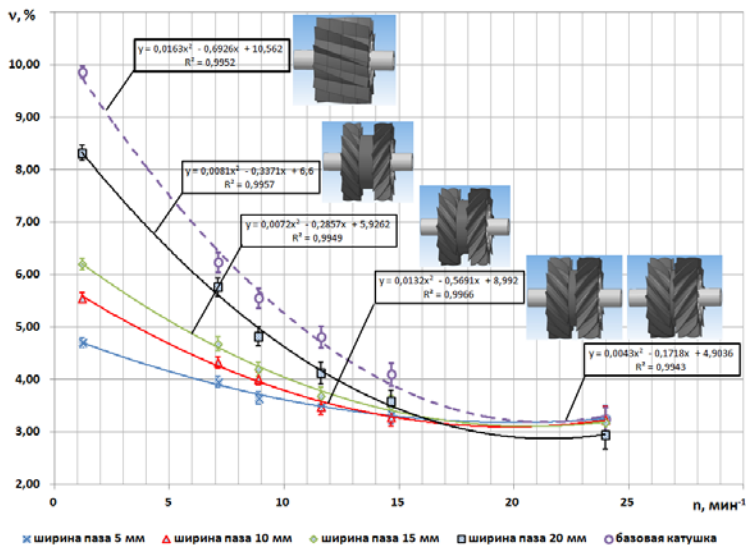


Рисунок 9 – Зависимость неравномерности распределения аммиачной селитры катушечным высевальным аппаратом от скорости вращения катушки  $n$ , при различной ширине паза  $B$  и угле наклона ребер желобков катушки  $\alpha = 60^{\circ}$

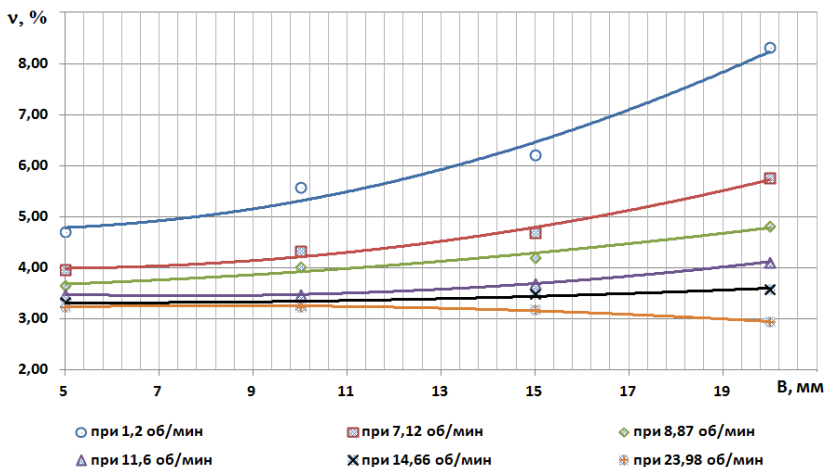


Рисунок 10 – Зависимость неравномерности распределения аммиачной селитры от ширины паза  $B$  катушки, при различных скоростях её вращения и угле наклона ребер желобков катушки  $\alpha = 60^{\circ}$

Из графиков (рис. 9, 10) следует, что с увеличением ширины паза  $B$  неравномерность дозирования аммиачной селитры возрастает по кривой типа гиперболы, что подтверждает истину теории Кардашевского [10], которая заключается в том, что причиной неудовлетворительной работы катушечных дозирующих устройств, является наличие в них двух видов движения: принудительного и за счёт активного слоя патока материала во время их высева. При приближении к минимуму активного потока движения материала улучшается работа катушечного дозатора.

Следует также отметить, что при увеличении ширины паза  $B$  и частоты вращения дозирующей катушки наблюдается снижение неравномерности дозирования аммиачной селитры. Данное явление также наблюдали такие исследователи как И.Л. Слущкий, А.Н. Семенов, К.Н. Смирнов и др. [11]. По их мнению, объясняется это тем, что при увеличении частоты вращения катушки, увеличивается число слоев частиц материала в активном слое это и приводит к улучшению работы катушечного дозатора.

**Вывод.** В результате проведения экспериментальных исследований нового катушечного высевающего аппарата было установлено, что наилучшая неравномерность дозирования минеральных удобрений достигается дозирующей катушкой с углом наклона ребер желобков  $60^{\circ}$  и пазом 5 мм.

Поскольку угол наклона ребер желобков катушки, при котором наблюдается наилучшая равномерность дозирования удобрений, несколько превышает теоретический угол, установленный ранее исследователями [6-8], то необходимо провести дополнительные теоретические исследования по его обоснованию и проверить достоверность полученных результатов экспериментально.

### Литература

1. Степук, Л. Я. Построение машин химизации земледелия / Л. Я. Степук, А. А. Жешко; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012. – 443 с.
2. Машина штанговая для внесения минеральных удобрений: пат. №17624 Респ. Беларусь, МПК7 А 01С 15/00 / Л. Я. Степук, В. В. Барабанов ; заявитель РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № а 20110579; заявл. 2011.05.05; опубл. 30.10.13.
3. Крючин, Н.П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития : учеб.-метод. пособие / Н.П. Крючин. – Самара, 2003. – 116 с.
4. John Deere Air Seeding Eguipment // Проспект фирмы John Deere (США). – 33 с.: ил.

5. Официальный сайт компании AMAZONEN-WERKE // Сеялка D9 6000-TC Combi [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.amazone.ru/4351.asp>. - Дата доступа: 01.08.2015.

6. Присяжная, С.П. Повышение равномерности распределения семян при посеве сои на основе усовершенствования катушечного высевающего аппарата / С.П. Присяжная [и др.] // Земледелие.-2014.-№ 2. □ С. 41-42.

7. Попко, В. И. Обоснование процесса работы и параметров шнеково-лопастного туковысевающего аппарата для локального внесения гранулированных минеральных удобрений: дисс. канд. техн. наук.: 05.20.01 / В. И. Попко. – Луцк, 1984. – 162 л.

8. Шабуня, С. А. Исследование процесса посева сои сеялкой с диагональными катушечными высевающими аппаратами: дисс. канд. техн. наук.: 05.20.01 / С. А. Шабуня. – Благовещенск, 2006. – 179 л.

9. Ларюшин, Н.П. Некоторые результаты лабораторно-полевых исследований катушечно-винтового высевающего аппарата/ Н.П. Ларюшин, А.В. Шуков // Нива Поволжья. – 2009. – №2. – С.52–58.

10. Кардашевский, С. В. Высевающие устройства посевных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 178 с.

11. Атомян, В.М. Исследование свободного истечения и посева семян зерновыми сеялками с катушечными высевающими аппаратами / В.М. Атомян. – Ереван: изд. Главного управления с/х наук мсх АРМ. ССР, 1960. – 164 с.

### ***Анотація***

*У статті наводяться результати експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів нового катушкового висівного апарата на рівномірність дозування мінеральних добрив.*

### ***Summary***

*The article presents the results of experimental studies of the impact of structural parameters of the new roller feed unit on uniform dosage of fertilizers.*