

бо-колтеров и катков турбо-чопперов. Поэтому в ближайшее время с учетом особенностей республики нужно разработать модификации серийно выпускаемых отечественных машин, что позволит решить все вопросы внедрения новых технологий без использования импортных агрегатов. Одновременно надо отметить, что практика внедрения почвозащитных технологий показывает, что решение данной проблемы возможно только за счет использования новой техники. Необходим комплексный подход, специальная государственная программа, которая позволила бы вести во всех регионах республики стационарные полевые опыты по отработке бесплужных почвозащитных технологий и определить максимально возможный объем безотвальных обработок почвы для конкретных почвенно-климатических условий.

13.09.13

УДК 631.331.022

**В.П. Чеботарев,  
Ю.Л. Салапура,  
Д.В. Зубенко**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПА ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ**

### **Введение**

Широкое распространение в республике получили зерновые сеялки с пневматической системой высева и созданные на их базе почвообрабатывающе-посевные агрегаты. Это связано с их существенными преимуществами: возможностью создания широкозахватных агрегатов ширины захвата до 24 метров, уменьшением удельной материалоемкости на 20...25 %, возможностью их использования в комбинированных почвообрабатывающе-посевных агрегатах. Использование высокопроизводительной посевной техники особенно актуально для нашей страны, и обусловлено это, в частности, нарастающим с каждым годом дефицитом квалифицированных кадров в системе сельскохозяйственного производства.

В общем случае современная сеялка с пневматической системой высева имеет раздельно-агрегатную компоновку [1, 2], при которой машина состоит из отдельных блоков (модулей). Данный тип компоновки позволяет разместить в пространстве бункер и основные рабочие органы (рисунок 28).

Пневматическая высевая система и раздельно-агрегатная компоновка рабочих органов сеялок позволяют реализовать секционный принцип построения рамы посевного блока, при котором ее складывание происходит в вертикальной плоскости. Данное решение позволяет

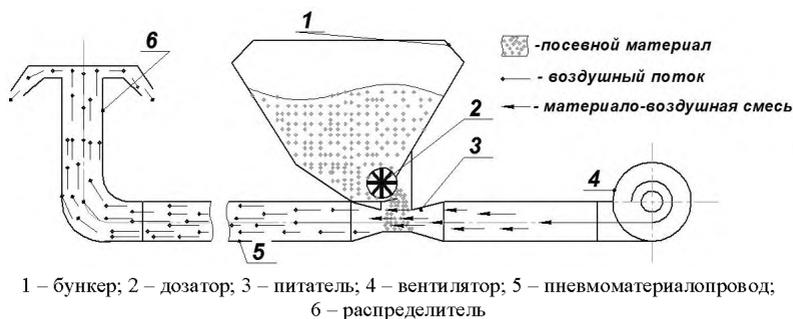


*Рисунок 28 – Посевной комплекс с пневматической системой высева фирмы «Horsch»*

значительно ускорить процесс перевода агрегата из рабочего положения в транспортное и обратно, следовательно, снизить общие непроизводительные затраты времени на переезды. Централизованный бункер сеялки обеспечивает снижение количества и продолжительности технологических остановок на заправку посевным материалом. Применение автономной системы загрузки на широкозахватных сеялках с пневматической системой высева позволяет снизить время и трудоемкость загрузки.

#### **Основная часть**

Основными элементами системы высева с пневматическим транспортированием посевного материала в сошники являются бункер, вентилятор, дозатор, устройство для ввода посевного материала в воздушный поток (питатель), распределительное устройство, а также материало- и семяпроводы (рисунок 29).



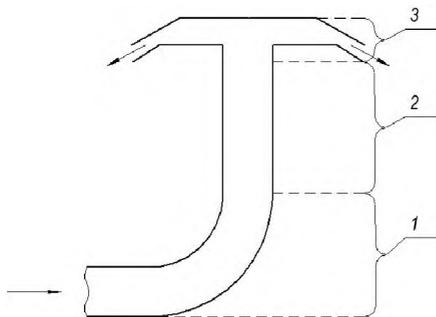
*Рисунок 29 – Технологический процесс работы пневматической высевальной системы*

Одним из основных показателей, по которому оценивают качество работы пневматической высевальной системы, является равномерность распределения посевного материала по семяпроводам. Существенное

влияние на кинематическую структуру твердого компонента материало-воздушной смеси, следовательно, и на равномерное распределение семян оказывает конфигурация вертикального распределительного устройства. Так, расстояние от фасонной части (отвода) подводящего трубопровода до распределительной головки на распределительных рабочих органах большинства посевных машин, как правило, не превышает  $10D$ , ввиду больших габаритов при переводе в транспортное положение и повышенной материалоемкости. Однако для полной стабилизации материало-воздушного потока необходимо расстояние в  $(30...40)D$ , этим во многом и обуславливается высокая неравномерность поперечного распределения посевного материала [3, с. 115–117].

С целью подтверждения высказанных предположений аналитически рассмотрим процесс движения посевного материала в распределительном устройстве вертикального типа.

В процессе движения посевного материала по вертикальному распределительному устройству можно выделить три основных участка: 1 – участок ввода посевного материала в распределительное устройство (отвод); 2 – участок разгона и распределения посевного материала в поперечном сечении (вертикальная колонна); 3 – участок распределения посевного материала по семяпроводам (распределительная головка) (рисунок 30).



1 – участок ввода посевного материала в распределительное устройство (отвод); 2 – участок разгона и распределения посевного материала в поперечном сечении (вертикальная колонна); 3 – участок распределения посевного материала по семяпроводам (распределительная головка)

*Рисунок 30 – Схема вертикального распределительного устройства*

Неравномерность распределения непосредственно зависит от равномерности размещения посевного материала в поперечном сечении восходящего потока. Для улучшения этого показателя в проточном канале вертикальной колонны и в крышке распределительной головки размещают дополнительные элементы различного конструктивного исполнения (турбулизирующие вставки, направлятели, отражатели), повышающие турбулентность транспортирующего воздушного потока для создания более однородной материало-воздушной смеси по всему сечению и, следовательно, для более равномерного распределения посевного материала по сошникам [4].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для улучшения работы вертикальных распределительных устройств целесообразно ис-

пользовать дополнительные элементы, позволяющие сделать поле скоростей воздушного потока более однородным по всему поперечному сечению вертикальной колонны при входе в распределительную головку, а также снизить травмирование частиц посевного материала при распределении по отводящим патрубкам.

В связи с вышеизложенным рассмотрим на примере одной частицы движение высеваемого материала в вертикальном распределительном устройстве.

*Движение посевного материала в отводе.* При движении потока по криволинейному участку (отводу) канала происходит изменение его структуры, что выражается в перераспределении локальных давлений и скоростей воздуха по сечению потока: скорость убывает с увеличением радиуса кривизны и, следовательно, давление у внутренней стенки меньше, чем у внешней. При входе в отвод у внутренней стенки образуется конфузурный участок, а у внешней – диффузорный, в то время как при выходе из отвода в вертикальную колонну, наоборот, у внутренней стенки образуется диффузорный, а у внешней – конфузурный участки. В диффузорных областях криволинейного участка наблюдается интенсивный рост пограничного слоя, который малоустойчив и легко отрывается от стенки канала [5, с. 147–149] (рисунок 31).

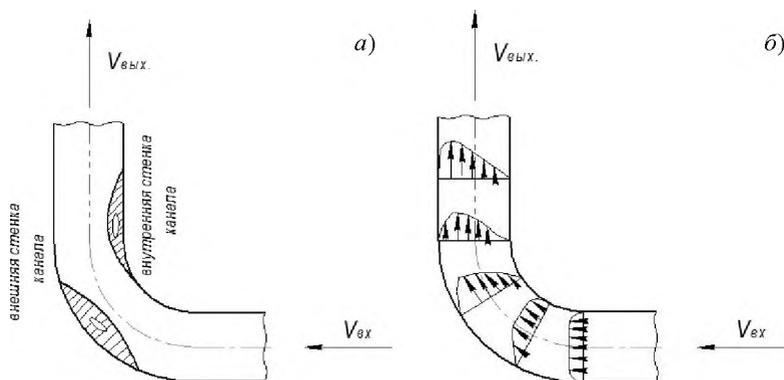


Рисунок 31 – Области отрыва потока (а), поля скоростей в отводе (б)

Анализ схемы показал, что наличие местных отрывов приводит к нарушению однородности поля скоростей на выходе из отвода, что не может не отразиться на равномерности распределения посевного материала по всему поперечному сечению вертикальной колонны.

Определим величину снижения скорости частицы при движении по отводу. При движении по отводу на частицу будут действовать сила тяжести  $G$ , реакция связи  $N$  и сила трения  $F_{тр}$ . (рисунок 32).

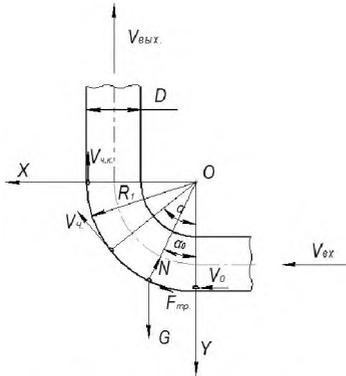


Рисунок 32 – Изменение скорости частицы при ее движении в отводе

Используем дифференциальные уравнения плоского движения материальной точки в прямоугольных координатах и напишем уравнение движения частицы в отводе, изменяющем направление с горизонтали на вертикаль [3, с. 40]:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -T \cdot \cos \alpha - N \cdot \sin \alpha; \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = T \cdot \sin \alpha - N \cdot \cos \alpha + G, \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы, кг;

$\alpha$  – текущее значение угла поворота, град.;

$T$  – сила трения, Н;

$N$  – реакция связи, Н;

$G$  – сила тяжести, Н;

$t$  – время, с.

После некоторых преобразований выражения (1) получим, что при повороте двухкомпонентного потока с горизонтали на вертикаль на угол  $90^\circ$  величина конечной скорости частицы определяется:

$$V_{\text{вых}} = \sqrt{\frac{V_0^2}{e^{\pi f}} - \frac{2gR_1}{1+4f^2} \left[ \frac{1-2f^2}{e^{\pi f}} + 3f \right]},$$

где  $V_0$  – скорость семян на входе в отвод, м/с;

$R_1$  – радиус кривизны, м;

$f$  – коэффициент трения.

Из полученного уравнения построен график изменения скорости семян после отвода при различных коэффициентах трения  $f = 0,2 \dots 0,6$  для зерновых культур при  $R_1 = 0,4$  м (рисунок 33).

Как видно из рисунка 33, существенное влияние на скорость семян при движении по отводу оказывает коэффициент трения  $f$ : чем он больше, тем больше теряется скорость семян при выходе из отвода. Так, при входной скорости в 30 м/с, радиусе кривизны 0,4 м и коэф-

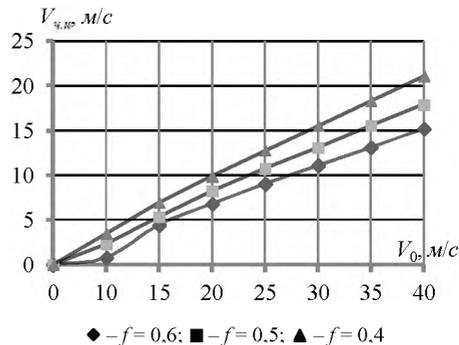
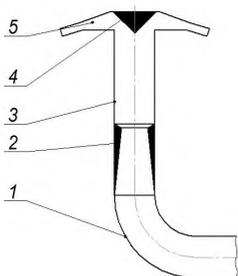


Рисунок 33 – Зависимость изменения скорости семян зерновых культур перед отводом от скорости семян за отводом при различных коэффициентах трения

фициенте трения 0,6 скорость на выходе из отвода в 2,7 раза меньше, чем на входе, что ведет к уменьшению числа Рейнольдса ( $Re$ ) и к общему снижению турбулентности потока.

Изучив характер распределения полей скоростей воздушного потока в отводе, траекторию движения отдельной частицы и действующие на нее силы, а также определив величину скорости частицы на выходе из отвода, можно сделать вывод, что в отводе на частицу действует сила трения и центробежная сила, величина которой зависит от массы частицы, той скорости, которую она имела при входе в отвод, и его радиуса. Вследствие этого семена отбрасываются к внешней стенке отвода и продолжают по ней свое движение. Таким образом, семена в отводе распределяются по его наружной стенке, теряя свою скорость, что подтверждают поля скоростей на рисунке 31 б. Все это говорит о том, что необходимо выровнять скорость материало-воздушной смеси по поперечному сечению вертикальной колонны, то есть увеличить турбулентность потока.

Одним из наиболее распространенных способов повышения равномерности распределения в данном случае на практике является дополнительная турбулиизация поступающей к распределительной головке материало-воздушной смеси. Дополнительная турбулиизация осуществляется посредством различных по конструкции элементов, устанавливаемых на вертикальном участке подводящего трубопровода. Это способствует выравниванию концентрации частиц высеваемого материала по поперечному сечению трубопровода [6].



1 – отвод; 2 – турбулизирующая вставка; 3 – вертикальная колонна; 4 – направляющий; 5 – распределительная головка

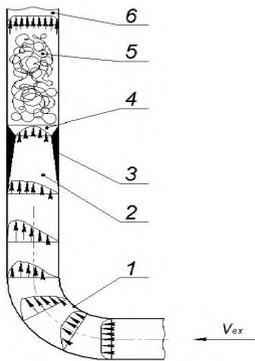
**Рисунок 34 – Конструкция предлагаемого вертикального распределителя**

В связи с этим нами предлагается конструкция вертикального распределителя с турбулизирующей вставкой и направляющим, который установлен в крышке распределительной головки. Вертикальная колонна состоит из участка с турбулизирующей вставкой и вертикального подводящего участка (рисунок 34).

Посевной материал, транспортируемый воздушным потоком к распределительной головке, проходит отвод, где под действием инерционных сил концентрируется у поверхности с большим радиусом кривизны. Далее посевной материал поступает в вертикальную колонну, где установлена турбулизирующая

вставка. На каждом из этих участков характер течения потока материало-воздушной смеси различный, определяемый в основном конструктивными особенностями элементов устройства и аэродинамическими параметрами транспортируемого материала.

В турбулизирующей вставке в ее впускной части конуса происходит «сжатие» материалo-воздушного потока и приближение его к центру. При этом аэродинамическое сопротивление и механическое сопротивление трения транспортируемого материала о поверхность незначительны вследствие его плавного сужения [7, с. 43–46]. При этом скорости периферийных слоев потока возрастают и выравниваются по всей площади поперечного сечения конуса. На выходе из турбулизатора образуется внезапное расширение конуса, которое вызывает образование вихревых потоков транспортирующего воздуха по всему поперечному сечению входного трубопровода [8, с. 28–30]. При этом образуются и отдельные вихри с отрицательным градиентом скорости. Все это вызывает интенсивное перемешивание транспортируемого материала с воздухом и формирование однородной материалo-воздушной смеси. Исследованиями установлено, что для равномерного распределения материала по отводящим патрубкам на входе в распределительную головку поток материалo-воздушной смеси должен стабилизироваться. Это требование выполняется при расстоянии не менее  $3D$  между вставкой и входом в распределительную головку (рисунок 35).



1 – отвод; 2 – конфузорная часть вставки; 3 – турбулизирующая вставка; 4 – диффузорная часть вставки; 5 – вихревая зона; 6 – вход в распределительную головку

**Рисунок 35 – Поля скоростей в распределителе с турбулизирующей вставкой**

Сократив массу  $m$  в уравнении (2) и проинтегрировав, получим:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \kappa_n \cdot (v_a - v_s)^2 \cdot t + C_1; \quad (3)$$

$$x = 0,5 \cdot \kappa_n \cdot (v_a - v_s)^2 \cdot t^2 + C_1 \cdot t + C_2, \quad (4)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные интегрирования.

При движении в восходящем воздушном потоке на нее оказывает действие аэродинамическая сила  $F_a$  и сила тяжести  $G$  (рисунок 36).

Уравнение для условия равновесия частицы будет иметь вид:

$$F_a - G = 0,$$

где  $F_a$  – аэродинамическая сила,  $H$ .

После некоторых преобразований составим дифференциальное уравнение движения и подставим известные величины:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = m \cdot \kappa_n \cdot (v_a - v_s)^2 - mg, \quad (2)$$

где  $\kappa_n$  – коэффициент парусности,

$v_a$  – скорость воздуха,  $м/с$ ;

$v_s$  – скорость семян,  $м/с$ .

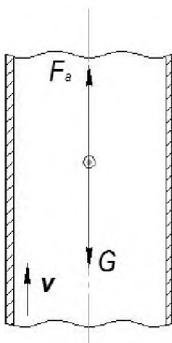


Рисунок 36 – Схема сил, действующих на частицу в восходящем воздушном потоке

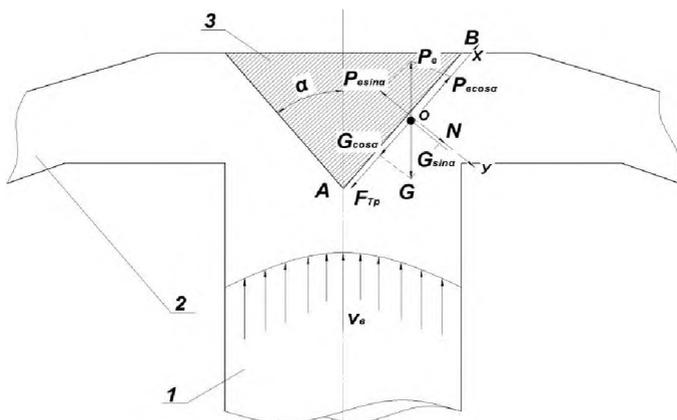
Постоянные интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  будут определяться из начальных условий при  $t = 0$ ,  $x = 0$  и  $\frac{\partial x}{\partial t} = 0$ , что при подстановке в уравнение (3) и (4) даст:  $C_1 = C_2 = 0$ .

Определим закон движения частицы в вертикальной колонне:

$$x = 0,5 \cdot \kappa_n \cdot (v_e - v_y)^2 \cdot t^2.$$

*Движение посевного материала в распределительной головке.* Для сохранения высокой равномерности распределения посевного материала по поперечному сечению в распределительной головке и далее в семяпроводах необходимо, чтобы каждая частица с наименьшими потерями энергии и за

кратчайшее время после касания с внутренней поверхностью распределительной головки переместилась к отводящему патрубку (рисунок 37).



1 – входной трубопровод; 2 – отводящий патрубок; 3 – отражатель

Рисунок 37 – Схема сил, действующих на частицу, расположенную на внутренней поверхности распределительной головки

На частицу, расположенную на прямой AB, действуют следующие силы: сила тяжести  $G$ , трения  $F_{Tp}$ , сила реакции поверхности  $N$  и сила воздействия воздушного потока  $P_e$ . Угол наклона прямой AB к оси входного трубопровода равен  $\alpha$ . После принятия частицы материальной точкой, в этой точке (O) располагаются координатные оси:  $O_x$  – параллельно прямой AB, а  $O_y$  – перпендикулярно. Соответствующие уравнения для условия равновесия частицы будут иметь вид:

$$P_e \cdot \cos \alpha - F_{Tp} - G \cos \alpha = 0;$$

$$N + G \sin \alpha - P_e \cdot \sin \alpha = 0.$$

Так как частица движется по поверхности распределительной головки по оси  $O_x$ , составим дифференциальное уравнение движения по этому направлению, учитывая то, что в направлении оси  $O_y$  силы уравновешиваются:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = P_e \cdot \cos \alpha - F_{Tp} - G \cos \alpha. \quad (5)$$

Подставляя в уравнение (5) значение составляющих сил, получим следующее дифференциальное уравнение:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = P_e \cdot \cos \alpha - f_{mp}(P_e \cdot \sin \alpha - G \sin \alpha) - G \cos \alpha,$$

или

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 0,5k_c F \rho v_e^2 \cdot \cos \alpha - f_{mp}(0,5k_c F \rho v_e^2 \cdot \sin \alpha - mg \cdot \sin \alpha) - mg \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho = 1,29$ );

$k_c$  – коэффициент сопротивления воздушного потока.

После замены выражения  $0,5k_c F \rho v_e^2 = a$  уравнение (6) запишется в следующем виде:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = a \cdot \cos \alpha - f_{mp}(a \cdot \sin \alpha - mg \cdot \sin \alpha) - mg \cdot \cos \alpha,$$

или 
$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = (a - mg) \cdot \cos \alpha - f_{mp}(a - mg) \cdot \sin \alpha,$$

то есть

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = (a - mg) \cdot (\cos \alpha - f_{mp} \cdot \sin \alpha). \quad (7)$$

Решение уравнения (7) непосредственным интегрированием позволит получить закон движения частицы по поверхности распределительной головки:

$$x = \frac{(a - mg) \cdot (\cos \alpha - f_{mp} \cdot \sin \alpha)}{2m} t^2.$$

### Заключение

Предложен способ повышения качества распределения посевного материала по семяпроводам распределителя вертикального типа посредством применения турбулизирующей вставки в вертикальной колонне и направителя в распределительной головке. Также получен закон движения частицы посевного материала по поверхности распределительной головки.

Результаты исследований использованы при разработке конструкции вертикального распределительного устройства для сеялок с пневматической системой высева, которая удовлетворяет агротехническим требованиям по норме высева различных сельскохозяйственных культур.

29.08.13

### Литература

1. Ивженко, С.А. Механико-технологические основы совершенствования пневматического посева: дис... докт. техн. наук: 05.20.01 / С.А. Ивженко. – Саратов, 1992. – 506 с.
2. Сариев, Ж.А. Применение посевного комплекса «FlexicoilST-820» в опытно-производственных условиях / Ж.А. Сариев, В.В. Вьюрков, А.Е. Сарсенов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 2. – С. 33–35.
3. Зуев, Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях / Ф.Г. Зуев. – М.: Колос, 1976. – 344 с.
4. Чеботарев, В.П. Анализ вертикальных распределительных устройств пневматических сеялок / В.П. Чеботарев, А.Л. Медведев, Ю.Л. Салапура, Д.В. Зубенко // Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ИМЭСХ»; редкол.: В.В. Адамчук [и др.]. – Глеваха, 2012. – Вып. 96. – С. 67–75.
5. Повх, И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И.Л. Повх. – 3-е изд., перераб. и исправл. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
6. Чеботарев, В.П. Классификация посевных машин с пневматическими системами высева / В.П. Чеботарев, Д.В. Зубенко, Ю.Л. Салапура, А.В. Новиков, В.В. Мижурин // Вестник БГСХА. – 2013. – № 2. – С. 27–32.
7. Бак, О. Проектирование и расчет вентиляторов / О. Бак, под. ред. А.Р. Бушеля. – М.: Гос. научн.-техн. изд. по горному делу, 1961. – 364 с.
8. Идельчик, И.Е. Аэродинамика технологических аппаратов: подвод, отвод и распределение потока по сечению аппаратов / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1983. – 351 с.

УДК 631.331.022

**Н.Д. Лепешкин, А.Л. Медведев,  
В.В. Мижурин, Д.В. Зубенко**  
(РУП «ННЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**АКТИВИРУЮЩЕЕ  
ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛОПАСТЕЙ  
ВОРОШИТЕЛЯ-  
НАГНЕТАТЕЛЯ НА  
ПОСЕВНОЙ МАТЕРИАЛ**

### Введение

На основании анализа устройств для дозирования трудносыпучих и несипучих семян кормовых трав сделан вывод о том, что они не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям по равномерности и устойчивости дозирования посевного материала.