

К теории дозирования семян пневматическим высевальным аппаратом избыточного давления

А.Ю. Попов, И.А. Казачков

В настоящее время в отечественных технологиях посева пропашных культур на замену вакуумным высевальным аппаратам точного посева [1] приходят аппараты, работающие на избыточном давлении. Основным достоинством этих аппаратов является возможность проведения посева с высокой равномерностью распределения семян на поле на больших скоростях движения сеялки, что диктуют все возрастающие агротехнические требования к возделыванию пропашных культур. Посевной агрегат в составе, которого используется сеялка, работающая на избыточном давлении, является высокопроизводительным и позволяет проводить посев в сжатые агротехнические сроки, что определяет в последующем получение высоких урожаев [2]. Разработка новых конструктивных параметров и технологических режимов работы высевальных аппаратов невозможна без правильного понимания процессов дозирования, которые для аппаратов, работающих на избыточном давлении, еще не достаточно изучены и имеют свои особенности.

На процесс транспортирования семян дозирующим элементом диска высевального аппарата оказывает влияние множество факторов, в том числе избыточное давление, диаметр отверстий дозирующих элементов, частота вращения высевального диска и другие [3, 4]. Для нахождения оптимальных параметров и режимов работы высевального аппарата избыточного давления необходимо определить аналитическую зависимость величины избыточного давления в семенной камере от различных факторов, возникающих при транспортировании семян дозирующими элементами диска.

Рассмотрим один из этапов процесса дозирования высевальным аппаратом [5] – транспортирование единичного семени дозирующими элементами высевального диска.

В основу теоретического исследования процесса транспортирования семян дозирующими элементами высевающего диска, положена модель сыпучего тела, предложенная исследователями Л.В. Гячевым и В.А. Богомягких. Учитывая их рекомендации, а также результаты предыдущих исследований, примем следующие допущения:

– все семена одинаковы по форме и размеру, и представлены в виде абсолютно твердых шаров с постоянным углом укладки в семенной камере высевающего аппарата;

– форма семян реального посевного материала учитывается с помощью коэффициента формы реальных семян k_ϕ , который для каждой культуры разный, а линейные размеры семян – длина, ширина и толщина – с помощью условного диаметра семени, определяемого по известной формуле $d_{сем} = k_\phi \cdot \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}$ [6];

– линейные размеры семян значительно меньше габаритных размеров семенной камеры;

– угловая скорость высевающего диска постоянна;

– величина избыточного давления в семенной камере постоянно;

– проекция центра тяжести транспортируемого семени на плоскость высевающего диска совпадает с центром отверстия дозирующего элемента;

– при повороте семени на кромке дозирующего элемента, изменение расположения центра тяжести семени изменяется незначительно;

– масса всех семян одинакова.

При транспортировании единичного семени дозирующим элементом высевающего диска на него в продольно-вертикальной плоскости xOy , действуют сила тяжести mg , сила сопротивления воздуха R_C и центробежная сила U , которые относятся к совокупности сил, оказывающих сопротивление движению семени, транспортируемому дозирующим элементом. Так как каждая из них стремится сбросить захваченное семя из отверстия высевающего диска.

На рисунке 1 представлена схема сил, действующих на единичное семя при транспортировании его дозирующим элементом высевающего диска аппарата.

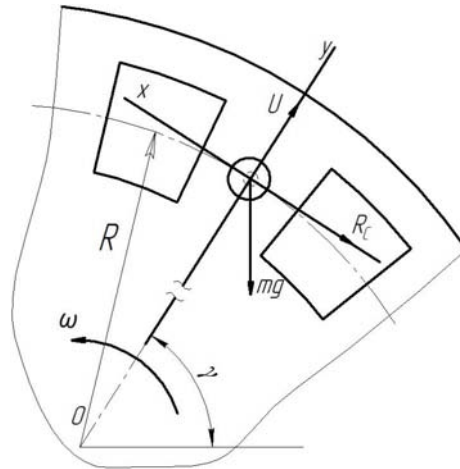


Рис. 1. – Схема сил, действующих в продольно-вертикальной плоскости $хоу$ на единичное семя, транспортируемое дозирующим элементом

Определим силу общего сопротивления F_C , действующую на семя при транспортировании, по следующей формуле

$$F_C = \sqrt{F_{Cx}^2 + F_{Cy}^2},$$

где F_{Cx} – сила общего сопротивления F_C в проекции на ось x ; F_{Cy} – сила общего сопротивления F_C в проекции на ось y .

Определим составляющую силы общего сопротивления F_C в проекции на ось x

$$F_{Cx} = R_c + mg \cos \gamma,$$

где γ – угол поворота диска высевающего аппарата по горизонтали, рад; m – масса семени, кг; g – ускорение свободного падения, $g=9,81 \text{ м/с}^2$.

Определим составляющую силы сопротивления F_C в проекции на ось y

$$F_{Cy} = U - mg \cdot \sin \gamma,$$

где U – центробежная сила, Н.

Тогда общая сила сопротивления F_C

$$F_C = \sqrt{(R_c + mg \cos \gamma)^2 + (U - mg \sin \gamma)^2}. \quad (1)$$

Известно, что сила сопротивления воздуха определяется по формуле $R_C = mk_{\Pi}\omega^2 R^2$, а центробежная сила равна $U = m\omega^2 R$ [7]. Подставляя в формулу (1) значения U и R_C , получим

$$F_C = \sqrt{(mk_{\Pi}\omega^2 R^2 + mg \cdot \cos \gamma)^2 + (m\omega^2 R - mg \cdot \sin \gamma)^2}. \quad (2)$$

где k_{Π} – коэффициент парусности семени, м^{-1} ; R – радиус окружности центров отверстий дозирующих элементов высевающего диска, м ; ω – угловая скорость высевающего диска, с^{-1} .

Кроме того, на единичное семя, захваченное дозирующим элементом высевающего диска, оказывает воздействие сила избыточного давления P_{TP} , которая удерживает его при транспортировании дозирующим элементом высевающего диска.

Из рисунка 2 видно, что сила избыточного давления P_{TP} и сила общего сопротивления F_C , создают моменты относительно точки A . Если момент силы избыточного давления P_{TP} будет недостаточен, то рассматриваемое семя может развернуться на кромке отверстия дозирующего элемента вокруг точки A по направлению действия силы общего сопротивления F_C .

Момент силы трения семени F_{mp} о поверхность высевающего диска и момент силы реакции опоры N высевающего диска на семя относительно точки A отсутствуют. Это связано с тем, что линия действия данных сил проходит через точку A .

Из уравнения равновесия моментов сил относительно точки A определим силу избыточного давления P_{TP}

$$P_{TP}|AB| - F_C|MB| = 0. \quad (3)$$

Из рисунка 2 видно, что треугольник ΔAMB прямоугольный. Следовательно, стороны равны $|AB| = \frac{d_{омв}}{2}$ и $|AM| = r_{сем} = \frac{d_{сем}}{2}$.

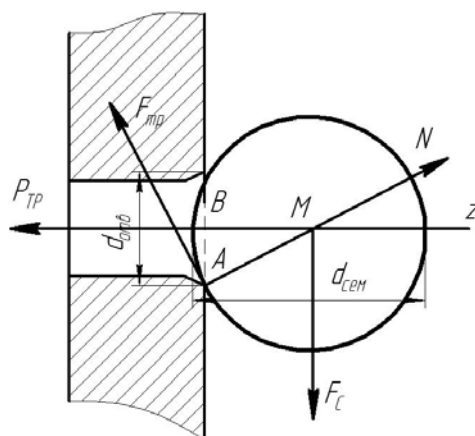


Рис. 2. – Схема сил, действующих на семя при повороте на кромке дозирующего элемента в поперечно-вертикальной плоскости высевающего диска

Так как $|MB|^2 + |AB|^2 = |MA|^2$, то, подставляя значения $|AB|$ и $|AM|$ и преобразуя, определяем длину стороны $|MB|$

$$|MB| = \frac{\sqrt{d_{с\text{ем}}^2 - d_{от\text{в}}^2}}{2}. \quad (4)$$

Подставляя значения $|AB|$ и $|MB|$ из (4) в выражение (3) и преобразуя, получим

$$P_{TP} = \frac{\sqrt{d_{с\text{ем}}^2 - d_{от\text{в}}^2}}{d_{от\text{в}}} F_C. \quad (5)$$

где $d_{от\text{в}}$ – диаметр отверстия дозирующего элемента высевающего диска, м; $r_{с\text{ем}}$ – условный радиус семени, м; $d_{с\text{ем}}$ – условный диаметр семени, м.

Подставляя значение силы общего сопротивления F_C из формулы (2) в формулу (5) и преобразуя, определим силу избыточного давления воздуха P_{TP} необходимую для гарантированного удержания и транспортирования одного семени дозирующим элементом

$$P_{TP} = \frac{\sqrt{d_{с\text{ем}}^2 - d_{от\text{в}}^2}}{d_{от\text{в}}} m \sqrt{\omega^2 R (\omega^2 R - 2g \sin \gamma + k_{\Pi} R (k_{\Pi} \omega^2 R^2 + 2g \cos \gamma)) + g^2}. \quad (6)$$

Так как величину давления воздуха p_{TP} в семенной камере пневматического высевающего аппарата определяют по известной формуле

$p_{mp} \geq \frac{4P_{mp}}{\pi k d_{омс}^2}$ [8], то подставляя значение силы избыточного давления $P_{ТР}$ из

формулы (6) в данное выражение и преобразуя, получим выражение для определения давления воздуха p в семенной камере пневматического высевающего аппарата избыточного давления необходимого для гарантированного удержания и транспортирования единичного семени дозирующим элементом высевающего диска к месту сброса в сошник сеялки.

$$p_{ТР} \geq \frac{4\sqrt{d_{сем}^2 - d_{омс}^2}}{\pi k d_{омс}^3} m \sqrt{\omega^2 R (\omega^2 R - 2g \sin \gamma + k_{II} R (k_{II} \omega^2 R^2 + 2g \cos \gamma)) + g^2}. \quad (7)$$

где $p_{ТР}$ – давление воздуха в семенной камере аппарата избыточного давления, Па; k – эмпирический коэффициент, определяемый экспериментально и зависящий от высеваемой культуры, для пропашных культур данный коэффициент находится в пределах $k = 0,35-1,55$ [9, 10].

На основе полученной зависимости (7) были построены графики теоретической зависимости величины избыточного давления p в семенной камере пневматического аппарата избыточного давления от угла поворота высевающего диска γ (рис. 3) и от диаметра отверстий дозирующих элементов высевающего диска (рис. 4).



Рис. 3. – График теоретической зависимости избыточного давления p от угла поворота высевающего диска γ ($\omega = 0,8 \text{ с}^{-1}$, $d_{омс} = 4 \text{ мм}$)

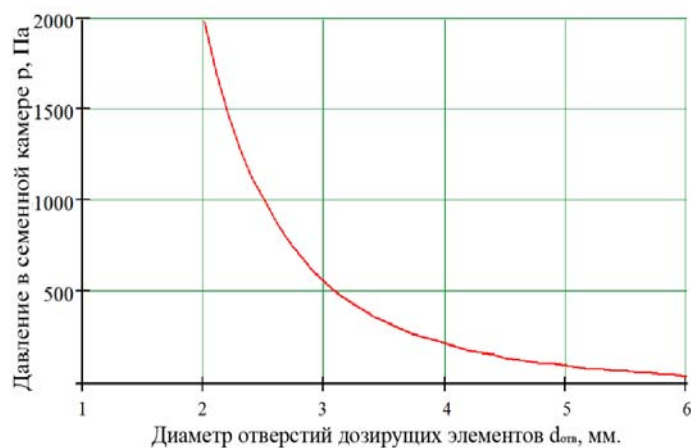


Рис. 4. – График теоретической зависимости избыточного давления p от диаметра отверстий высевающего диска $d_{отв}$ ($\omega = 0,8 \text{ с}^{-1}$, $\gamma = 1,5 \text{ рад}$)

Проанализировав полученную зависимость (7) и графики, представленные на рисунках 3 и 4 можно сделать следующие выводы:

- увеличение диаметра отверстий дозирующих элементов высевающего диска приводит к значительному уменьшению давления, необходимого для транспортирования семени;

- с увеличением угловой скорости высевающего диска повышается величина давления, необходимого для гарантированного удержания и транспортирования единичного семени дозирующим элементом;

- изменение угла поворота γ высевающего диска оказывает незначительное влияние на величину давления необходимого для транспортирования семени.

Литература

1. Скурятин Н.Ф., Мерецкий С.В. Совершенствование процесса посева зерновых на склоновых почвах [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №1 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/662> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Рылякин, Е.Г. Обзор технических средств приготовления плющеного зерна, представленных на российском рынке сельхозтехники [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3 – Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1954> (доступ свободный) –
Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Karayel D., Barut Z.B., Özmerzi A. Mathematical Modelling of Vacuum Pressure on a Precision Seeder [Text] // Biosystems Engineering. – 2004. – №87 (4). – pp. 437–444.

4. Singh, R. C., Singh G., Saraswat D. C. Optimization of design an operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [Text] // Biosystems Engineering. – 2005. – №92 (4). – pp. 429–438.

5. Попов, А.Ю. Совершенствование конструкции пневматического высевающего аппарата избыточного давления [Текст] // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – №4. – С. 76–79.

6. Богомягих, В.А. Анализ работы дозирующей системы зерновой сеялки с централизованным высевом [Текст] / В.А. Богомягих – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2005. – 85 с.

7. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С.М. Тарг – М.: Высш. шк., 2004. – 416 с.

8. Будагов, А.А. Точный посев на высоких скоростях [Текст] / А.А. Будагов. – Краснодар: Кн. изд-во, 1971. – 140 с.

9. Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др. – М.: Колос, 1986. – 688 с.

10. Зенин, Л.С. К теории точного высева [Текст] // Вест.с.-х. науки Казахстана. – 1962. – №1. – С. 62 – 84.