Шевырев Л.Ю.

К вопросу определения сводообразующего размера выпускного отверстия бункера сеялки

Донской государственный аграрный университет (Россия, Зерноград)

doi: 10.18411/trnio-11-2023-429

Аннотация

В данной статье представлены теоретические выкладки для определения сводообразующего размера выпускного отверстия бункера зерновой сеялки.

Ключевые слова: бункер, статически устойчивый свод, истечение, сводоразрушитель, сводообразующий размер, истечение зерна.

Abstract

This article presents theoretical calculations for determining the arch-forming size of the outlet of the grain drill hopper.

Keywords: hopper, statically stable vault, expiration, vault breaker, vault-forming size, grain expiration.

При всех видах истечения, как следует из теории В.А. Богомягких, все частицы сыпучего перемещаются по пересекающимся линиям скольжения, эквидистантным образующей поверхности скольжения потока. Последнее позволяет рассматривать процесс движения сыпучих тел с учетом образования в них сводов и сопровождающих их явлений.

По теории проф. В.А.Богомягких [1] движение частиц с конечными размерами в сужающемся потоке происходит по пересекающимся линиям скольжения, параллельным образующей поверхности скольжения потока. В результате такого движения частицы способны в объёме бункера образовывать неустойчивые (динамические) своды и статически устойчивые своды. В результате образования последних подача зерна к катушке сеялки прекращается, что негативно сказывается на равномерности высева зерна.

Истечение зерна из ёмкости возможно в случае, если размер выпускного отверстия больше наибольшего сводообразующего размера, то есть, при условии, когда Rв > Rн.св. Для различных форм выпускных отверстий Rн.св. определяется по различным формулам.

В общем случае этот расчёт ведётся по эмпирической формуле Rн.св. ≈ (3 – 5) dy, где dy – условный диаметр частиц сыпучего зернистого тела. Однако эта формула не учитывает физико-механические свойства частиц (зерна), а также угол их укладки в объёме ёмкости.

Последние факторы, как показала практика эксплуатации бункеров (ёмкостей), существенно влияют на их нормальное функционирование, то есть, на процесс истечения из них сыпучих зернистых тел. В связи с изложенным, выведем формулу для определения значения Rн.св. бункера сеялки.

При его образовании скольжение (перемещение) частиц в ёмкости не будет наблюдаться при условии, если величина сдвигающей силы Q (рисунок 1), действующей в плоскости соприкосновения зёрен свода, меньше или равна силе трения F между ними.

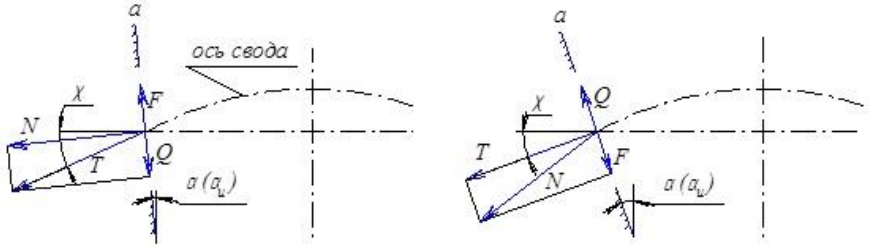


Рисунок 1. К определению условия устойчивости опор статически устойчивого свода.

При этом, сила N перпендикулярна образующей стенки ёмкости а-а (при гидравлическом виде истечения) или образующей поверхности потока (при нормальном виде истечения). В последнем случае (нашем случае) αи = χ , где χ – угол между касательной к кривой свода в его пяте и горизонталью. Этот угол определяется по формуле проф. В.А. Богомягких [1]. Исходя из теории В.А.Богомягких также определено уравнение кривой статически устойчивого свода (рисунок 2).

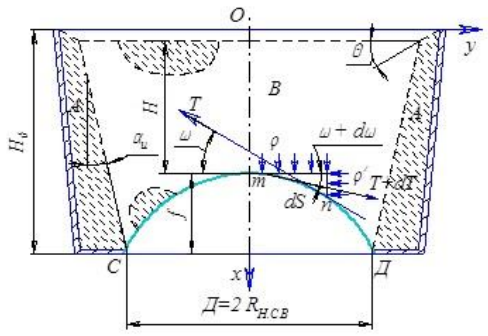


Рисунок 2. Схема сил, действующая на элемент статически устойчивого свода.

Оно получено из уравнений равновесия системы сил, действующих на элемент свода dS, соответственно, на оси координат Ох и Оу

$$\Sigma x = 0; \Sigma y = 0.$$

Тогда

$$y = \pm\sqrt{\frac{\rho'}{\rho}x^2 + \frac{2(H\rho' + \rho R_{н.св.} ctg\alpha_u)}{\rho} + \frac{\rho'}{\rho}(H-f)^2 - \frac{2(H\rho' + R_{н.св.}\rho ctg\alpha_u)(H-f)}{\rho}}.$$

уравнение кривой – эллипс,

где ρ *и* ρ' – усилия, приходящиеся на единицу длины проекций свода (соответственно на ось х и у);

α_u – угол линий скольжения частиц (зерна) к вертикали;

$R_{н.св.}$ – наибольший сводообразующий размер выпускного отверстия ёмкости;

f – стрела статически устойчивого свода;

H – текущая высота столба сыпучего тела над статически устойчивым сводом.

Также определена его стрела

$$f = R_{н.св.}\delta,$$

где δ – теоретический коэффициент, равный

$$\delta = \sqrt{A^2 ctg^2\alpha_u + A} - A ctg\,\alpha_u,$$

где $A = \rho/\rho'$ – коэффициент пропорциональности между осевым и горизонтальным давлениями в любом сечении щелевого бункера (ёмкости).

Исходя из равновесия системы сил, действующей на замковую частицу *«m»* статически устойчивого свода (рисунок 3) [2], определён для щелевого отверстия ёмкости сеялки его наибольший сводообразующий размер R*н.св.*

$$R_x = \frac{2\pi d_y}{AK} \times \frac{\left[R_{н.св.} + (f - r_y \cos\beta) tg\,\chi\right] r_y \sin\beta ctg\,(\beta + \alpha_u)}{\left[R_{н.св.} + (f - r_y \cos\beta) ctg\,\chi\right] + l_щ},$$

где γ – насыпная плотность зерна в ёмкости;

η – плотность отдельного зерна;

dy – условный диаметр зерна;

f – стрела статического свода;

χ – угол между касательной к кривой статического свода в его пяте и горизонталью;

$l_щ$ – длина щели выпускного отверстия;

r_y – условный радиус зерна;

β – угол укладки зерна в объёме бункера;

$\alpha_и$ – угол скольжения (линии скольжения) частиц зерна при нормальном его истечении из ёмкости с щелевым выпускным отверстием;

$R_{н.св.}$ – наибольший сводообразующий размер щелевого выпускного отверстия бункера.

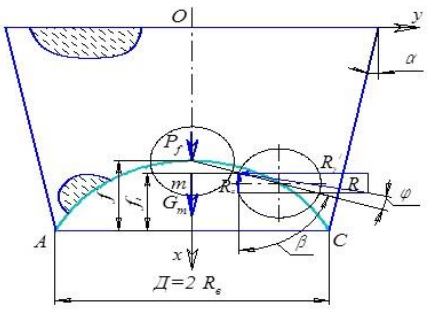


Рисунок 3. Схема системы сил, действующих на замковую частицу устойчивого свода.

$$R_{н.св.} = \frac{d_y\left[A(2a_1\eta + 3\gamma)tg(\beta + \psi) + 3\gamma \sin 2\beta tg\alpha_u\right]}{12\gamma \sin \beta(1 + \delta tg\alpha)},$$

где *a1* – теоретический коэффициент, равный 1/2cosβ (для нормального вида истечения [3]);

η – плотность зерна;

γ – насыпная плотность сыпучего тела;

β – угол укладки частиц сыпучего тела в объёме ёмкости;

ψ – внутренний угол между частицами сыпучего тела.

Для определения предельной скорости истечения зерна из выпускного отверстия ёмкости используем формулу,

$$V_{пр} = \frac{\sqrt{g}}{R_в\sqrt{tg\alpha_u}}(\sqrt{R_в^3} - \sqrt{R_{н.св.}^3}),$$

а предельного расхода зерна используем

$$q_{пр} = 2l_щ\sqrt{\frac{g}{tg\alpha_u}}(R_в^{1,5} - R_{н.св}^{1,5}),$$

где $l_щ$ – длина выпускной щели ёмкости.

Как видно из указанных формул, при $R_в = R_{н.св.}$ (когда образовался статически устойчивый свод) $V_{пр} = 0$ и $q_{пр} = 0$. То есть, истечение зерна прекращается и желобки вращающейся катушки не заполняются зерном. На поле образуется просев.

Возможны случаи (при малых нормах внесения), когда $R_в \le R_{н.св.}$ Другими словами, для таких норм высева зерна не существует выпускного отверстия, при котором возможен высев зерна [4]. В этих ситуациях необходимо устанавливать в ёмкости над катушкой сводоразрушитель, приводящийся в колебательное движение от рёбер желобков вращающейся катушки.

***

1. Механика влажных сводообразующих зерновых материалов в бункерах / В.А. Богомягких, В.С. Кунаков, Н.С. Вороной, В.П. Трембич; Ростовский филиал Российской инженерной академии менеджмента и

агробизнеса; Под общей редакцией Богомягких В.А.. – Зерноград: Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2000. – 100 с.
2. Шевырев, Л.Ю. Совершенствование процесса дозирования семян зерновых культур сеялкой с централизованным высевом: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шевырев Леонид Юрьевич. – Ростов-на-Дону, 2004. – 159 с.
3. Шевырев, Л.Ю. Совершенствование процесса дозирования семян зерновых культур сеялкой с централизованным высевом: специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шевырев Леонид Юрьевич. – Ростов-на-Дону, 2004. – 23 с.
4. Анализ современных способов посева зерновых культур / А.В. Жигайлов, С.А. Акименко, Р.Р. Сафаров [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 68-2. – С. 144-148.

Шевырев Л.Ю.

К определению формы частицы сыпучего материала

Донской государственный аграрный университет
(Россия, Зерноград)

doi: 10.18411/trnio-11-2023-430

Аннотация

В данной статье представлены теоретические выкладки для определения формы частицы реального сыпучего тела. Определена форма зерна пшеницы, которая согласно представленным расчётам является параболической бочкой.

Ключевые слова: сыпучий материал, форма частицы, зерно пшеницы, параболическая бочка, коэффициент искажения формы, эллипс.

Abstract

This article presents theoretical calculations for determining the shape of a particle of a real bulk body. The shape of the wheat grain has been determined, which according to the presented calculations is a parabolic barrel.

Keywords: bulk material, particle shape, wheat grain, parabolic barrel, shape distortion coefficient, ellipse.

Все сельскохозяйственные сыпучие материалы подчиняются закону сухого трения (влажность от 14 до 16%). Поэтому в основу теоретического решения определения формы частицы реального сыпучего тела положена комбинированная механическая модель дискретного сыпучего тела проф. Л.В. Гячева – В.А. Богомягких, которая, кроме известных допущений бессводообразующей модели сыпучего тела Л.В. Гячева, включает допущения, позволяющие рассматривать процесс истечения сыпучих тел из выпускных отверстий ёмкостей с точки зрения образования в них статически устойчивых сводов.

Механическая модель сыпучего тела предполагает наличие следующих ограничений и допущений относительно формы, размеров и расположения зерен, характера их движения и вида трения между ними:

1. Сыпучее тело состоит из частиц, которые представляют собой одинаковые абсолютно твердые шары с некоторым постоянным углом укладки в объёме бункера.
2. Силы внутреннего трения между частицами и силы трения частиц о стенку бункера пропорциональны соответствующим нормальным усилиям (закон Кулона).
3. Размеры шаров несоизмеримы с размерами поперечных сечений бункера и высотой столба сыпучего тела в нём.
4. Движение реальных шаровых частиц в потоке сыпучего тела происходит без их относительного вращения.