

УДК 631.243.24

Исследование напряженно-деформированного состояния стенок силосов в элеваторах

Голиотто О.Е.

Научный руководитель – Босовец Ф.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В продовольственной безопасности Республики Беларусь переработка и хранение продуктов питания имеют важное значение. Хранение зерна, муки в больших объемах производится в элеваторах, состоящих из отдельных силосных банок. Конфигурация силосов в силосном корпусе зависит от технико-экономических показателей по расходу стройматериалов. Расчеты показывают, что круглый в плане силос по сравнению с квадратным имеет на 11,4 % меньше периметр стен при равновеликой площади сечения. Однако квадратные силосы при смежном расположении, например, четыре штуки в квадратном блоке, дают, наоборот, уменьшение периметра стен более чем на 20 % против четырех круглых равновеликих по вместимости силосов. Толщину стенок силосов принимают 180–200 мм. Днища силосов при сетке колонн 3×3 м образуются объемными железобетонными воронками, которые представляют собой полую усеченную пирамиду. Стенки силосных корпусов испытывают постоянные и временные нагрузки: от собственной массы конструкций, ветровые и снеговые нагрузки. Кроме того в банках силосов располагается полезная нагрузка от зерна ржи, кукурузы, проса, риса и проч., которые обладают различными коэффициентами трения по бетону с гладкой и шероховатой поверхностью. Все вышеперечисленные факторы создают условия работы стенок в сложном напряженном состоянии.

Первые предпосылки для расчета стенок силосов были предложены английскими исследователями в 1895 году Х.А. Янсенем и М. Кенаном. Ими предложены формулы для определения горизонтального и вертикального давления от зерна на стенки силоса.

горизонтальное:

$$P_{\text{зоп}} = \frac{\gamma \cdot Q}{f} \cdot \left(1 - e^{-f \cdot K \cdot \frac{Y}{Q}} \right) \quad (1)$$

вертикальное:

$$q = \frac{P_{\text{зоп}}}{K} = \frac{\gamma \cdot Q}{f \cdot K} \cdot \left(1 - e^{-f \cdot K \cdot \frac{Y}{Q}} \right) \quad (2)$$

где f – коэффициент трения сыпучего материала о стенку силоса;
 Q – гидравлический радиус поперечного сечения силоса.

Касательное напряжение (трение) в плоскости стены силоса.

$$t = P_{\text{зоп}} \cdot \operatorname{tg} \alpha = P_{\text{зоп}} \cdot f, \quad (3)$$

где α – угол трения сыпучего материала о стену силоса.

По предложению М. Кенана отношение горизонтального давления к вертикальному (коэффициент бокового давления):

$$K = \operatorname{tg}^2 \cdot \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (4)$$

где φ – угол внутреннего трения сыпучего материала. Для зерна эти коэффициенты будут равны $K = 0.44$; $f = 0.4$; $\varphi = 25^\circ$.

Теоретические решения М. Кенана – Х.А. Янсена не учитывают многообразия напряженного состояния сыпучего материала при истечении зерна из силоса. Опыты показали, что истечение зерна может происходить в разных формах (см. рис.1.)

Первая форма (а) характеризуется образованием над выпускным отверстием канала течения, доходящего до верха засыпки, при которой истечение происходит путем постепенного стекания верхних слоев в этот канал. Остальная масса зерна при этом остается в покое, и давление на стены практически не возрастает.

Вторая форма (б) характеризуется наличием трех зон: зона I, распространяющаяся на большую часть высоты силоса, отличается постоянной скоростью движения частиц по поперечному сечению

и высоте; в зоне II перемещение зерен происходит по криволинейным траекториям с различными, возрастающими к выпускному отверстию скоростями. В зоне III от устья воронки до некоторой высоты у стен сыпучий материал находится в состоянии покоя, пока уровень зерна не достигнет этой зоны.

Истечение всем столбом, форма (в), отличается от второй формы отсутствием зон II, III и характеризуется постоянством скоростей движения частиц по всему объему.

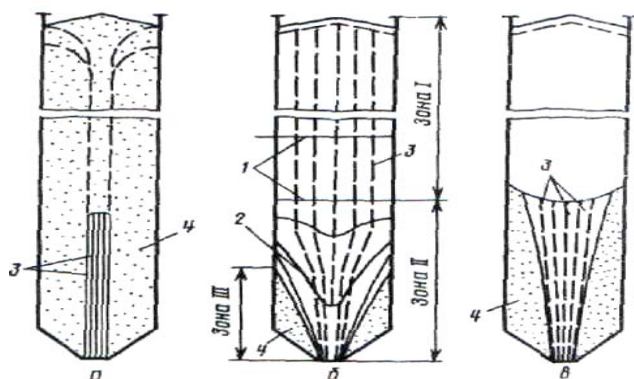


Рисунок 1 – Формы истечения зерна из силоса

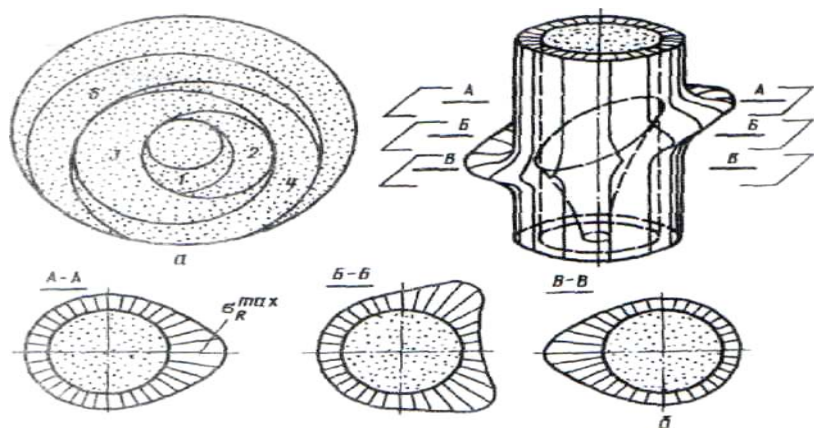


Рисунок 2 – Асимметрия истечения и давления зерна в силосе

В работах Г.А. Гениева на основе методов теории предельного равновесия разработана теория динамики сыпучей среды. Принимается, что сыпучая среда состоит из однородных частиц, размеры которых весьма малы по сравнению с рассматриваемой областью среды. Между частицами существует трение, зависящее от угла внутреннего трения φ , и некоторое сцепление, которое характеризуется предельным напряжением сцепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.А. Скориков, А.Н. Простосердов, В.Н. Карев, Ф.А. Несерс. Конструкции и расчет элеваторов. – М.: В.О. Агропромиздат, 1987.