

скольжения в случае наличия зазора между опорой и вкладышем подшипника при применении смазок, загущенных полимерами.

Л и т е р а т у р а

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., 1970. 2. Госмен А.Д. и др. Численные методы исследования течений вязкой жидкости. М., 1972.

УДК 539.215+622.331

В.И. Безмен, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОДООБРАЗОВАНИЯ В МЕЛКОФРАКЦИОННЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ВЫГРУЗКЕ ИХ ИЗ БУНКЕРА

Сводообразование, т. е. зависание сыпучего материала над выгрузочным отверстием, является одной из причин нарушения работоспособности отдельных бункеров.

Поэтому при выборе конструктивных параметров бункера большое внимание необходимо уделять вопросу обеспечения равномерного истечения из него сыпучего материала при открытом выпускном отверстии. Существующие методики расчетов [1, 2, 3], основанные на определении необходимых размеров выпускного отверстия, не всегда приводят к положительным результатам, поскольку не исключает возможность сводообразования.

В данной работе исследовалось явление сводообразования в зависимости от физико-механических свойств сыпучего материала и конструктивных параметров бункера. Для исследования выбрана наиболее распространенная конструкция бункера (рис. 1), состоящего из двух частей: нижней с наклонными

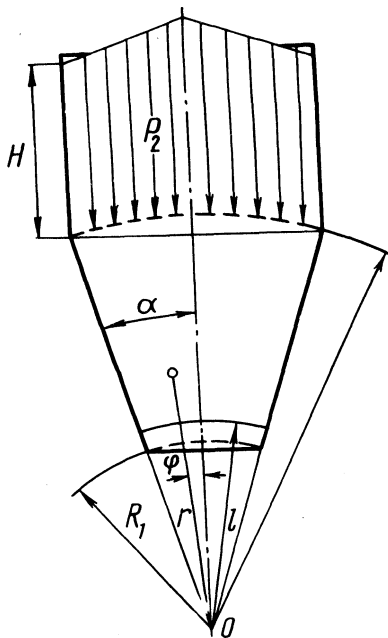


Рис. 1. Схема исследуемого бункера.

и верхней с вертикальными боковыми стенками. Предполагаем, что длина бункера значительно больше его ширины и во всех поперечных сечениях слой сыпучего материала располагается одинаково. Это предположение позволяет свести решение к решению плоской задачи.

Рассмотрим нижнюю часть бункера, в которой наблюдается наибольшая вероятность образования свода. Учитывая, что угол наклона боковых стенок сравнительно мал (до 20°), можно предположить, что в каждой точке собственный вес материала направлен по радиусу r .

Дифференциальные уравнения плоского равновесия в полярной системе координат имеют вид:

$$\frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{r \partial \varphi} + \frac{\tau_{rr} - \tau_{\varphi\varphi}}{r} - \gamma = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{r \partial \varphi} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} = 0, \quad (2)$$

где τ_{rr} , $\tau_{r\varphi}$, $\tau_{\varphi\varphi}$ - компоненты напряжений; r , φ - текущие координаты; γ - насыпная плотность материала.

В качестве третьего уравнения используем равенство, учитывающее физико-механические свойства материала

$$\tau_{\varphi\varphi} = \lambda \tau_{rr}, \quad (3)$$

где λ - коэффициент бокового распора.

Коэффициент бокового распора определяется опытным путем, причем всегда $\lambda > 0$, т. е. τ_{rr} и $\tau_{\varphi\varphi}$ постоянно одинакового знака. Положим, что $\tau_{rr} = -p$ ($p > 0$), так как для сыпучих материалов растягивающие напряжения не имеют смысла. Тогда $\tau_{\varphi\varphi} = -\lambda p$. Для краткости обозначим $\tau_{r\varphi} = \tau$.

Уравнения (1) и (2) применимы для сплошных сред и справедливы только для тех областей, в которых силы сцепления между частицами меньше сил трения, т. е.

$$\tau < \tau_0 + fp, \quad (4)$$

где τ_0 - начальное сопротивление сдвигу; p - нормальное давление.

Если неравенство (4) нарушается, то это означает, что частицы материала движутся друг относительно друга, т.е. нарушается сплошность среды. Решение задачи сводится к определению в бункере той области, где соблюдается предельный случай равновесия

$$\zeta = \zeta_0 + f p, \quad (5)$$

ниже которой будет происходить движение частиц относительно друг друга.

Учитывая введенные обозначения, уравнения (1) и (2) примут вид

$$-\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial \zeta}{r \partial \varphi} - (1 - \lambda) \frac{p}{r} = \gamma; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} - \lambda \frac{\partial}{r \partial \varphi} + \frac{2\zeta}{r} = 0. \quad (7)$$

Уравнение (6) представим в виде

$$-\lambda \frac{\partial p}{r \partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \zeta) = 0, \quad (8)$$

тогда

$$r^2 \zeta = \lambda \frac{\partial}{\partial \varphi} \int r p \partial r + U(\varphi), \quad (9)$$

где $U(\varphi)$ - функция, зависящая от угла φ .

Давление p представим в виде

$$p = \Phi(\varphi) (R - r) + P_0(\varphi), \quad (10)$$

где r - текущая координата точки; $P_0(\varphi)$ - функция, учитывающая давление материала, находящегося в верхней части бункера с вертикальными стенками с учетом заполнения. При решении задачи эта функция должна быть известна.

Решим уравнение (8) относительно ζ .

$$\zeta = \lambda \Phi'(\varphi) \left(\frac{R}{2} - \frac{r}{3} \right) + \frac{1}{2} P_0'(\varphi) \lambda + \frac{U(\varphi)}{r^2}. \quad (11)$$

Подставив выражения для r и ζ в уравнение (5), получим

$$\phi(\varphi) + \frac{\lambda}{r} \phi'' \left(\frac{R}{2} - \frac{r}{3} \right) + \frac{1}{2r} P''_{o(\varphi)} \lambda + \frac{U'_1(\varphi)}{r^3} - \\ - (1-\lambda) \frac{1}{r} \phi(\varphi) (R-r) - (1-\lambda) \frac{1}{r} P_{o(\varphi)} = \delta. \quad (12)$$

Приняв $U(\varphi) = 0$, $r = R_{cp}$ и обозначив $\frac{R}{R_{cp}} = \delta$ ($\delta > 1$),

$$R_{cp} = \frac{R + R_1}{2},$$

выражение (11) примет вид

$$\phi'' \lambda \left(0,5\delta - \frac{1}{3} \right) + \phi(\varphi) (1 - (1-\lambda)(\delta-1)) = \\ = \delta + (1-\lambda) \frac{P_{o(\varphi)}}{R_{cp}} - \frac{P''_{o(\varphi)} \lambda}{2R_{cp}}. \quad (13)$$

Разделив выражение (12) на $(0,5\delta - \frac{1}{3}) \lambda$ и обозначив

$$\frac{1 - (1-\lambda)(\delta+1)}{\lambda \left(0,5\delta - \frac{1}{3} \right)} = \varepsilon^2; \quad \frac{\delta + (1-\lambda) \frac{P_{o(\varphi)}}{R_{cp}} - \frac{P''_{o(\varphi)}}{2R_{cp}}}{\lambda \left(0,5\delta - \frac{1}{3} \right)} = W(\varphi),$$

получим дифференциальное уравнение второго порядка

$$\phi''(\varphi) + \varepsilon^2 \phi(\varphi) = W(\varphi). \quad (14)$$

Решение дифференциального уравнения (13) представим в виде

$$\left. \begin{aligned} \phi(\varphi) &= C_1 \sin \varepsilon \varphi + C_2 \cos \varepsilon \varphi + D(\varphi); \\ \phi'(\varphi) &= \varepsilon (C_1 \cos \varepsilon \varphi - C_2 \sin \varepsilon \varphi) + D'(\varphi); \quad \phi'(\varphi) = 0, \end{aligned} \right\} (15)$$

тогда

$$C_1 = \frac{D'(0)}{\varepsilon}; \quad C_2 = 0.$$

После подстановки постоянных интегрирования

$$\phi(\varphi) = -\frac{D'_0}{\varepsilon} \sin \varepsilon \varphi + D(\varphi). \quad (16)$$

Решив совместно соотношения (10), (11) и (16) получим окончательные выражения для p и ζ

$$p = (D(\varphi) - \frac{D'_0}{\varepsilon} \sin \varepsilon \varphi)(R-r) + P_0(\varphi); \quad (17)$$

$$\zeta = -\lambda (D'_0 \cos \varepsilon \varphi + D'(\varphi)) \left(\frac{R}{2} - \frac{r}{3} \right) + P'_0(\varphi) \frac{\lambda}{2}. \quad (18)$$

Предположив, что при некотором значении $r = l$ и $\varphi = \alpha$ соблюдается равенство (5) и подставив в него выражение для p и ζ , можно определить радиус l образования свода в бункере.

При проектировании размеры и форму бункера необходимо выбирать такими, чтобы $l \geq R$, что позволяет исключить возможность образования свода в нижней части бункера. В его верхней части свод практически не образуется, так как расстояние между вертикальными стенками достаточно велико (три и более метра).

Резюме. Результаты совместного решения уравнений (10), (11) и (16) позволяют судить о наличии свода в выбранной конструкции бункера.

Л и т е р а т у р а

1. Зенков Р. Л. Механика насыпных грунтов. М., 1964.
2. Лурье З. С. Бункерные устройства углеобогатительных и брикетных фабрик. М., 1972.
3. Опейко Ф. А. Торфяные машины. Минск, 1968.

УДК 539.215+622.331

В. И. Безмен, канд техн наук

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СВОДООБРАЗОВАНИЙ В БУНКЕРАХ

В производственных условиях для хранения сыпучих материалов используются бункеры с небольшим углом α (до 20°) наклона боковых стенок. Это позволяет с достаточной для практики точностью принять, что давление p в рассматриваем-