

УДК 624.131.53.001.24

К РАСЧЁТУ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЯЧЕЕК СИЛОСОВ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ДАВЛЕНИИ

канд. техн. наук, проф. В.Д. ГРИНЕВ; доц. А.Г. ЩЕРБО
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается методика расчета прямоугольных ячеек бункеров и силосов для хранения сыпучих материалов. Нагрузка от бокового давления представлена с учетом некоторого жесткого ядра и призмы обрушения, скользящей по поверхностям ядра. Приведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами расчета, выполненного при равномерном распределении нагрузки.

В различных отраслях производства емкости для хранения сыпучих материалов получили широкое распространение. Причем значительную их часть составляют емкости прямоугольной формы как наиболее технологичные в процессе их сооружения и эксплуатации. Расчет прочности таких силосов и бункеров производится на основе представлений о равномерном боковом давлении, определяемом широко известными методами Кульмана, Эри, Кеннена – Янсена. Указанные методы получили дальнейшее развитие в [1; 2], где обосновывается наличие в массе сыпучего тела, хранящегося в бункере, некоторого жесткого ядра и призмы обрушения, скользящей по его поверхностям. Боковое давление, как показано в [1], при этом значительно меньше, чем принятое ранее распределенное равномерно. На основании анализа результатов, полученных в [1], в [2] предлагается замена равномерно распределенного по периметру бокового давления (рис. 1) на нагружение прямоугольной ячейки силоса по схеме, приведенной на рисунке 2.

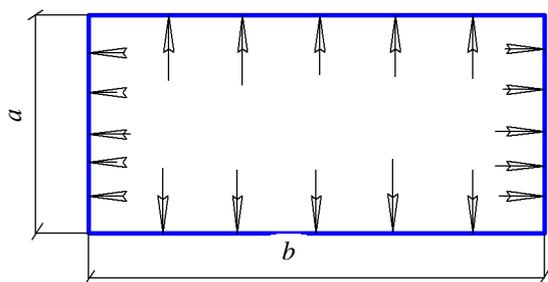


Рис. 1

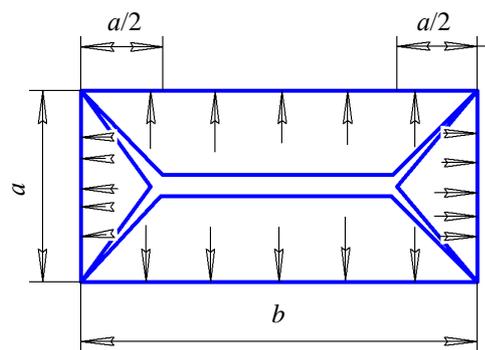


Рис. 2

Как следует из рисунка 2, давление по короткой стороне представляется в виде треугольника, по длинной – в виде трапеции, параметры которой определяются размерами бункера. Такое распределение горизонтального давления более точно учитывает его заниженную величину, что подтверждают результаты, представленные в [3]. Прямоугольная ячейка бункера является замкнутым контуром, т.е. системой трижды статически неопределимой, расчет данной рамы выполнен методом сил [4; 5].

На рисунке 3 представлена заданная система, где рассматривается предлагаемая по периметру нагрузка в виде треугольника и трапеции.

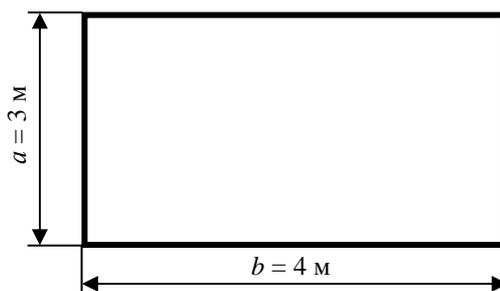


Рис. 3

Основная система метода сил показана на рисунке 4, а система канонических уравнений метода сил имеет вид, представленный формулой (1).

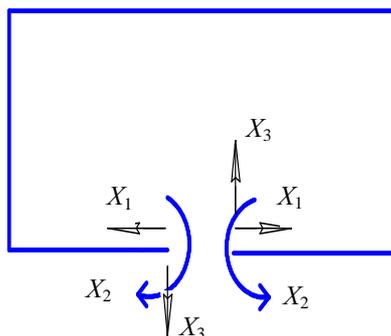


Рис. 4

$$\begin{cases} \sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \sigma_{13}x_3 + \Delta_{1p} = 0; \\ \sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \sigma_{23}x_3 + \Delta_{2p} = 0; \\ \sigma_{31}x_1 + \sigma_{32}x_2 + \sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Единичные состояния основной системы и соответствующие им эпюры моментов показаны на рисунке 5.

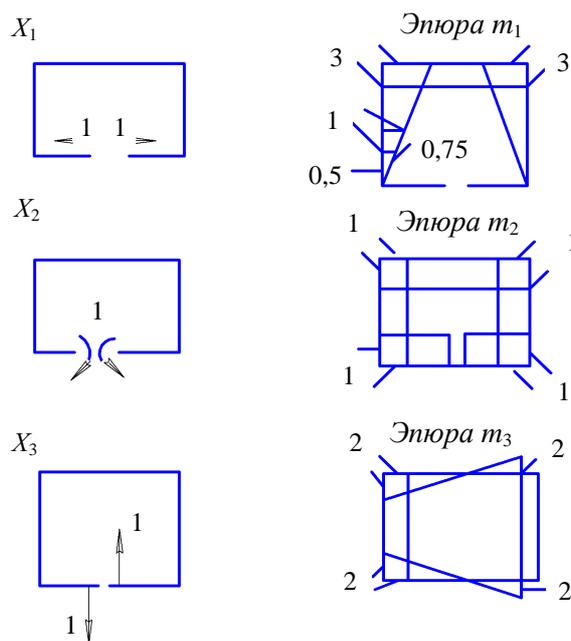


Рис. 5

Рассматриваемая основная система образована с использованием свойств симметрии, что позволяет разделить систему уравнений (1) на подсистемы:

$$\begin{cases} \sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \Delta_{1p} = 0; \\ \sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \Delta_{2p} = 0; \\ \sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Последнее из уравнений (2) превращается в тождество вследствие симметрии нагрузки, так как $\Delta_{3p} = 0$. Таким образом, задача сводится к решению системы двух уравнений (2).

При расчете рамы приняты размеры прямоугольника: $a = 3$ м, $b = 4$ м. Определение коэффициентов при неизвестных выполнено по правилу Верещагина, так как функции m_i являются линейными.

Для достижения наибольшей корректности решения определение свободных членов системы уравнений выполнено непосредственным интегрированием по формуле Максвелла – Мора:

$$\Delta_{ip} = \int_l \frac{M_p \cdot m_i}{EI} dl, \tag{3}$$

для чего на каждом из участков рамы составлены функции m_i и M_p . Эпюра M_p представлена на рисунке 6.

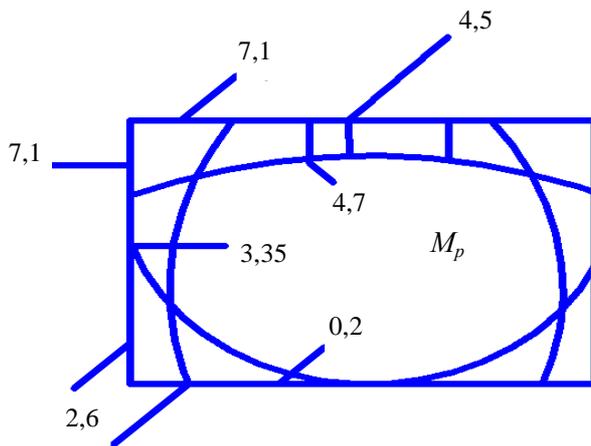


Рис. 6

Полученная система уравнений с численными коэффициентами и свободными членами имеет вид:

$$\begin{cases} 27x_1 + 10,5x_2 + 53,7 = 0; \\ 10,5x_1 + 7x_2 + 24,6 = 0. \end{cases}$$

Решение системы:

$$X_1 = -1,52; X_2 = -1,22.$$

Окончательную эпюру моментов строим по формуле:

$$M = M_p + m_1x_1 + m_2x_2.$$

Эпюры $m_i x_i$ представлены на рисунке 7, окончательная эпюра моментов – на рисунке 8.

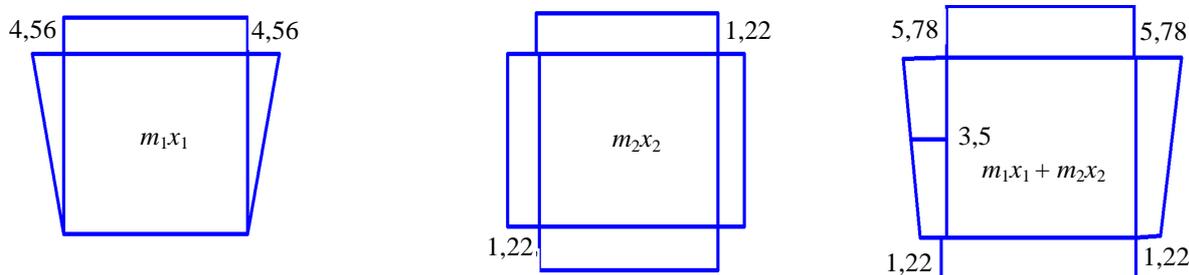


Рис. 7

Анализ решения задачи показывает, что наибольшая ошибка расчета составляет 4,6 %, что лежит в пределах допустимой точности.

Сравнительный анализ полученного решения с результатами, представленными в [6; 7], где нагрузка рассматривается в виде равномерно распределенной по периметру рамы, показывает следующее:

- изгибающие моменты в среднем сечении длинной стороны меньше на 7 %;
- изгибающие моменты в среднем сечении короткой стороны меньше на 9 %;
- наибольшее уменьшение изгибающих моментов приходится на узлы рамы и составляет около 12 %.

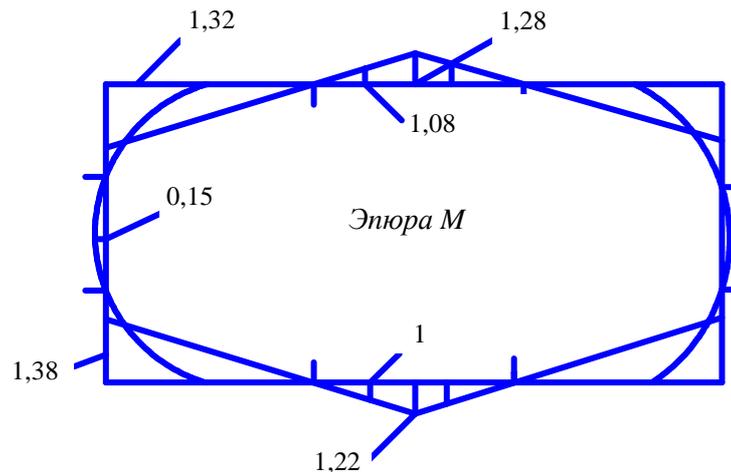


Рис. 8

Заключение. Проведенное исследование показало, что замена равномерного внутреннего давления в стенках бункера на нагружение по схеме, предлагаемой в данной работе, правомерна и позволяет более точно определить внутренние усилия в ячейках силосов и бункеров рассмотренной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. К определению давления сыпучих тел / В.Д. Гринев [и др.] // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: материалы междунар. конф., Сумы, 1994 г. – Сумы: ИПП «Мрія» ЛТД, 1994. – С. 188–189.
2. Гринев, В.Д. О распределении горизонтального давления сыпучих материалов по периметру стен / В.Д. Гринев // Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях: материалы междунар. конф., Сумы, 1994 г. – Сумы: ИПП «Мрія» ЛТД, 1994. – С. 192–193.
3. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции / А.П. Кудзис. – М.: Высш. шк., 1998. – Ч. 2: Конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. – 218 с.
4. Прочность, устойчивость, колебания: справочник / И.А. Бергер [и др.]. Т. 1. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1988. – С. 487–489.
5. Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев. – Киев: Наукова думка, 1975. – С. 328–331.
6. Сахновский, К.В. Железобетонные сооружения / К.В. Сахновский: Ленинград-Москва: Госстройиздат, 1933. – 332 с.
7. Справочник проектировщика промышленных сооружений / ОНТИ. – Москва-Ленинград, 1935. – Т. 4: Железобетонные конструкции. – 457 с.

Поступила 06.06.2014

TO CALCULATION OF RECTANGULAR CELLS OF SILOS WITH A HORIZONTAL PRESSURE

V. GRINJOV, A. SHCHERBO

In this article we consider the accounting method of orthogonal cells of the bunkers and silages for storage (keeping) loose materials. Strain from the late rail pressure is presented considering some haid core and collapsing prism moving on the core. There we also can see the comparative analysis of the received results with the results of calculation are made with a uniform strain distribution.