

4. Франк, Р. Проектирование свайных фундаментов в соответствии с Еврокодом 7 / Р. Франк: лекция XIII Дунайско-Европейской конф. по геотехнике, Любляна, Словения, 29–31 мая 2006 г. – 11 с.
5. Никитенко, М.И. Основные принципы геотехнического проектирования и исследования свойств грунтов в соответствии с ТКП EN 1997 / М.И. Никитенко, С.В. Игнатов // Вопросы перехода на европейские нормы проектирования строительных конструкций: науч.-техн. семинар / СФ БНТУ. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 82–94.
6. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 7. Геотехническое проектирование / Р. Франк [и др.]; под науч. ред. А.З. Тер-Мартиняна. – М.: МГСУ, 2013. – 360 с.
7. Eurocode 7: Geotechnical Design. Worked examples. Support to the implementation, harmonization and further development of the Eurocodes / Andrew J. Bond [et al.]. – Dublin, 13–14 June, 2013. – 172 p.

УДК 624.131.63.001.24

## РАСЧЕТ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ЧАСТИ БУНКЕРА ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

В.А. ЛОВШОВА, И.О. КОРНИЛОВА

(Представлено: канд. техн. наук, проф. В.Д. ГРИНЁВ; доц. А.Г. ЩЕРБО)

*Рассматриваются вопросы расчета стенок бункера с учетом возникающих в толще материала жесткого ядра и призмы обрушения. Представлен сравнительный анализ результатов, полученных в данной работе, с результатами классического решения.*

Ёмкости для хранения сыпучих материалов получили широкое распространение в различных отраслях производства. Наиболее технологичными в процессе сооружения и эксплуатации представляются емкости прямоугольной формы. При хранении, а также истечении сыпучего материала без учета динамических эффектов стенки прямоугольной части бункера испытывают одинаковое боковое давление.

Существует несколько вариантов поведения сыпучего материала при выпуске его из бункеров.

Рассмотрим варианты поведения и формы истечения для определенных видов сыпучих материалов.

Зависание сыпучего материала, то есть отложение его на днище, стенках бункера, вызванное слеживанием материала, исключается правильным выбором формы истечения сыпучего материала. При нормальной форме истечения в бункере образуются две зоны: узкий столб движущегося материала над выпускным отверстием – зона потока; неподвижная часть материала у стенок – застойная зона, которая может превратиться в слежавшуюся массу, в зависание. Для хорошо сыпучих материалов следует проектировать бункера с негидравлической формой истечения. К хорошо сыпучим материалам, то есть материалам, не имеющим сцепления, относятся щебень, галька, песок с влажностью менее 2 %, а также неразмокающие в воде материалы с крупностью самых мелких частиц более 2 мм при любой влажности.

В зависимости от свойств сыпучего материала, а также формы и размеров емкости возникают различные виды движения сыпучего материала. Первой формой истечения – истечения с трубообразованием – называется образование над выпускным отверстием узкой зоны движения, вокруг которой сыпучий материал неподвижен. Второй формой истечения – массовое истечение – называют процесс, когда сыпучий материал образует область малоподвижного или полностью неподвижного материала только в нижней зоне

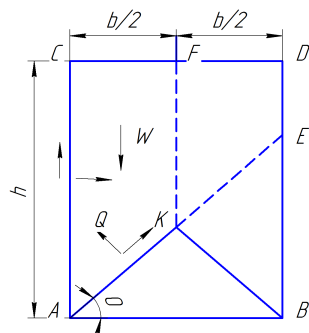


Рис. 1. Расчетная схема

аппарата. Между предельными состояниями возникают промежуточные формы, которые могут существовать длительное время. При хранении и всех указанных формах истечения сыпучего материала стенки бункера испытывают боковое давление, которое является определяющим фактором при расчете их прочности. Ниже рассматривается расчет прямоугольной части бункера в предположении статического приложения бокового давления.

При проектировании силосов, бункеров, перемычек и подпорных стен для определения бокового давления сыпучих материалов применяются графические методы Кульмана (1), (2), формулы Кеннена – Янсена и Эри (3). Вывод формул Эри для определения горизонтального давления на высокие стены бесконечной длины, ограничивающие сыпучую среду, основывается на классическом решении условий равновесия призмы обрушения  $ACDE$ , (рис. 1).

**Определение бокового давления на стенки бункера.** При расчёте бокового давления по формулам Эри наблюдается значительное расхождение с результатами экспериментов, что позволяет предположить образование некоторого жёсткого ядра  $AKB$ , по которому может произойти сползание призмы

обрушения *ACFK* и *KFDB*. Для обоснования этого утверждения введём следующие допущения: материал засыпки принимается несвязным, по плоскости обрушения *AC* и *AK* действуют силы трения.

Исходя из условий равновесия призмы *ACFK*, получим:

$$Q = W \cdot \frac{tg\theta - \mu}{1 - \mu\mu' + (\mu + \mu')tg\theta}; \quad (1)$$

$$W = \frac{\gamma^b}{2} \left( h - \frac{btg\theta}{4} \right). \quad (2)$$

Здесь –  $\theta$  угол плоскости обрушения с горизонтом;  $\mu$  – коэффициент внутреннего трения материала засыпки;  $\mu'$  – коэффициент трения засыпки о стенки емкости;  $\gamma$  – плотность материала засыпки.

Наибольшее боковое давление находится при подстановке в формулу (1) найденного значения

$$tg\theta = \sqrt{\frac{4h}{b} \cdot \frac{1 + \mu^2}{\mu + \mu'} + \frac{\mu}{\mu + \mu'} + \frac{(\mu - \mu\mu')^2}{(\mu + \mu')^2} - \frac{1 - \mu\mu}{\mu + \mu'}}; \quad (3)$$

$$tg\theta = \sqrt{Z} - \frac{1 - \mu\mu}{\mu + \mu'}.$$

Интенсивность бокового давления по высоте стенки может быть получена из условия

$$q = \frac{dQ}{dn},$$

$$\frac{\gamma b}{2(\mu + \mu')} \left\{ 1 - 1,5 \frac{1 + \mu^2}{(\mu + \mu')\sqrt{z}} + \frac{(1 + \mu^2) \left[ \frac{2h}{b} + \frac{1 - \mu\mu'}{2(\mu + \mu')} \right]}{(\mu + \mu')\sqrt{z} \left[ \frac{4h}{b} + \frac{-\mu}{1 + \mu^2} + \frac{(1 - \mu\mu)^2}{(\mu + \mu')(1 + \mu^2)} \right]} \right\}. \quad (4)$$

Выражение (4) упрощается, если принять

$$\left[ \frac{2h}{b} + \frac{1 - \mu\mu'}{2(\mu + \mu')} \right] \div \left[ \frac{4h}{b} + \frac{\mu}{1 + \mu^2} + \frac{(1 - \mu\mu)^2}{(\mu + \mu')(1 + \mu^2)} \right] = 0,5;$$

$$q = \frac{\gamma b}{2(\mu + \mu')} \left[ 1 - \frac{1 + \mu^2}{(\mu + \mu')\sqrt{z}} \right]; \quad (5)$$

$$z \rightarrow \infty q = q_{\max} \left[ 1 - \frac{1 + \mu^2}{(\mu + \mu')\sqrt{z}} \right].$$

Определяемое (5) наибольшее боковое давление оказалось вдвое меньше по сравнению с вычисленным по формуле Эри.

На основании анализа результатов, полученных в [1], в [2] предлагается замена равномерно распределенного по периметру бокового давления на нагружение пояса силоса по схеме «треугольник по короткой стороне – трапеция по длинной». Такое распределение горизонтального давления более точно учитывает его заниженную величину, что подтверждают результаты, представленные в [3].

**Расчеты пояса бункера методом сил.** Прямоугольный пояс бункера является замкнутым контуром, то есть системой, трижды статически неопределимой.

Расчет рамы выполнен методом сил [4; 5], основная система метода сил показана на рисунке 2.

Система канонических уравнений метода сил имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \sigma_{13}x_3 + \Delta_{1p} &= 0; \\ \sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \sigma_{23}x_3 + \Delta_{2p} &= 0; \\ \sigma_{31}x_1 + \sigma_{32}x_2 + \sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

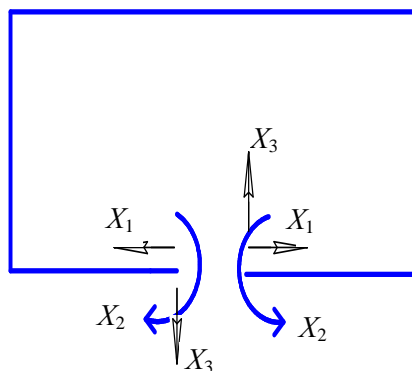


Рис. 2

Рассматриваемая основная система образована с использованием свойств симметрии, что позволяет разделить систему уравнений (6) на подсистемы:

$$\sigma_{11}x_1 + \sigma_{12}x_2 + \Delta_{1p} = 0; \quad (7)$$

$$\sigma_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0;$$

$$\sigma_{21}x_1 + \sigma_{22}x_2 + \Delta_{2p} = 0.$$

Последнее из уравнений (6) превращается в тождество вследствие симметрии нагрузки. Таким образом, задача сводится к решению системы двух уравнений (7). При расчете рамы приняты размеры прямоугольника  $a = 3$  м,  $b = 4$  м. Определение коэффициентов при неизвестных и свободных членах канонических уравнений выполнено по правилу Верещагина.

Решение системы уравнений (7):  $x_1 = -1,52$ ;  $x_2 = -1,22$ .

Окончательную эпюру моментов строим по формуле:

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

Окончательная эпюра моментов представлена на рисунке 3.

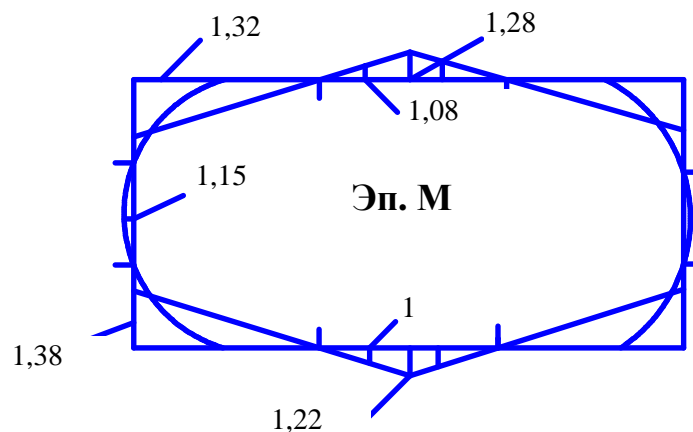


Рис. 3

Сравнение результатов приведенного расчёта с полученными в [6; 7] представлено в таблице.

Точки	1	2	3	4	5
Равномерная нагрузка	1,31	1,55	0,16	1,55	1,31
Уточнённая нагрузка	1,22	1,38	0,15	1,32	1,28

Сравнительный анализ полученного решения с результатами, приведенными в [6, с. 331, 332; 7], где нагрузка рассматривается в виде равномерно распределенной по периметру рамы, свидетельствует: изгибающие моменты в среднем сечении длинной стороны меньше на 7 %; в среднем сечении короткой стороны меньше на 9 %; наибольшее уменьшение изгибающих моментов приходится на узлы рамы и составляет около 12 %.

#### 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. – Суммы 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. – Суммы ИПП «Мрія» ЛТД, 1994. – С. 192–193.
3. Кудзис, А.П. Железобетонные и каменные конструкции / А.П. Кудзис. – М.: Высш. школа, 1998. – Ч. 2: Конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений. – 218 с.
4. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник / И.А. Биргер [и др.]. – Т. 1. – М.: 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. – 842 с.
7. Справочник проектировщика промышленных сооружений. – Москва-Ленинград, 1935. – Т. 4: Железобетонные конструкции ОНТИ. – 457 с.
8. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров. – М.: Стройиздат, 1985. – Т. 4: Железобетонные конструкции ОНТИ.

УДК 620.169.2

#### КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УСИЛЕНИЯ БАЛКОННЫХ ПЛИТ

*Н.А. ЧЕЛНОКОВА, Е.Ю. КУПИНА*

*(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.И. КОЛТУНОВ)*

*Рассматриваются возможные варианты усиления балконных плит при реконструкции жилых зданий. Приведены наиболее распространённые варианты усиления балконных плит путём подведения дополнительных опор с изменением расчётной схемы балкона.*

Балкон – это навесная конструкция (площадка), которая выступает из вертикальной плоскости стены фасада жилого дома или другого многоэтажного строения. Всегда имеет ограждения. В домах панельного типа балконные плиты опираются на железобетонные конструкции с применением перекрытий.

За длительный период эксплуатации балконные плиты могут получить повреждения, что проявляется в виде: шелушения окрасочного покрытия; высолов на поверхности бетона; трещин вдоль арматурных стержней; сколов защитного слоя бетона с оголением и коррозией арматуры, закладных деталей; шелушения защитного лакокрасочного покрытия с поверхности существующих подвесов; уменьшения защитного слоя бетона арматуры балок; налета коррозии на арматуре. Всё это свидетельствует о полной нейтрализации защитного слоя бетона. Возможные причины разрушения бетона – попадание атмосферных и талых вод на поверхность конструкций, приводящее к их водонасыщению, малый защитный слой бетона. В осенне-весенний период, в результате воздействия попеременного замораживания и оттаивания, происходит размораживание бетона. Кроме того периодическое увлажнение-высушивание поверхности способствует карбонизации бетона, то есть его нейтрализации и снижению пассивирующего эффекта по отношению к арматуре. В результате нейтрализации защитного слоя происходит коррозия арматуры, продукты которой, увеличиваясь в объеме, приводят к возникновению продольных по отношению к стержням трещин и отслоению защитного слоя бетона с оголением арматуры, что вызывает изменение технического состояния балконных плит. В новом состоянии они могут не удовлетворять предъявляемым требованиям по прочности, жёсткости или трещиностойкости. Для определения фактического технического состояния строительных конструкций эксплуатируемых зданий выполняют обследования, натурные испытания и поверочные расчёты.