

УДК 622.693
ТОГИЗБАЕВА Б.Б.

Критерии определения рациональных параметров бункеров при аккумулировании горной массы

При выборе бункеров для сыпучего материала сравнивают их рациональные конструктивные параметры и размеры выпускных отверстий. Связь физико-механических свойств горной массы с параметрами аккумулирующей емкости требует исследования условий истечения сыпучего материала при выгрузке на питатель.

Разгрузочные качества выпускных отверстий бункеров характеризуются их пропускной способностью, влияющей на продолжительность разгрузки, величиной угла наклона боковых стенок бункера, а также соответствием размеров аккумулирующих емкостей параметрам их выпускных отверстий.

При разработке бункеров рассматриваются следующие вопросы:

- выбор формы и размеров выпускных отверстий;
- выбор углов наклона стенок и ребер бункеров;
- определение пропускной способности горно-транспортного оборудования.

Выбор рациональных размеров и формы выпускных отверстий имеют важное практическое значение для обеспечения необходимой пропускной способности разгрузочных бункеров и механизма разгрузки.

При недостаточных размерах выпускных отверстий из-за сводообразования горной массы снижается пропускная способность бункеров, что приводит к увеличению продолжительности и трудоемкости разгрузочных работ. Излишнее увеличение размеров выпускных отверстий приводит к увеличению давления сыпучего материала на ленточные питатели, увеличению их массы, усложнению конструкции горно-транспортного оборудования.

Форма выпускного отверстия наряду с конструктивным исполнением бункера влияет на характер

истечения горной массы. При истечении в движении находится «столб» сыпучего материала в зоне выпускного отверстия, а по его периферии образуются так называемые «застойные зоны» [1]. Свободная поверхность сыпучего материала при свободном истечении представляет собой конус, вдоль образующих которого частицы горной массы перемещаются в центральную зону. Предпочтительным является сплошное истечение, когда в движении находится вся рудная масса в бункере. При сплошном истечении скорость сыпучего материала на выходе из отверстия практически не зависит от высоты «столба» рудной массы в бункере и связана, в основном, с формой и размерами выпускного отверстия.

Имеющиеся рекомендации по выбору выпускных отверстий неоднозначны [2], однако опыт эксплуатации горно-транспортного оборудования свидетельствует об эффективности шелевых отверстий.

Нагрузки от аккумулируемой горной массы учитываются в расчетных схемах с помощью двух составляющих, а именно горизонтального распорного давления, прикладываемого на вертикальные и наклонные стенки бункера, и распределенной вертикальной нагрузки от веса сыпучего материала, прикладываемой на дно и наклонные стенки бункеров.

Наибольшее давление на стенки бункеров оказывают насыпные грузы, близкие по свойствам к жидкости: например, сильно аэрированные насыпные грузы, сыпучий материал, содержащий большое количество влаги, а также рудная масса, находящаяся в состоянии таких интенсивных вибраций, что нарушается постоянство давления на стенки. В таких случаях давление на стенки бункеров определяется [1] по формуле

$$P = (1 + K_d)h \cdot \gamma \cdot \cos \beta,$$

где P – горизонтальная составляющая давления распора сыпучего материала, Па;
 γ – объемный вес груза, Н/м²;
 h – глубина рассматриваемой точки от горизонтальной поверхности, м;
 β – угол наклона стенки к вертикали, град;
 K_d – коэффициент динамики.

Давление от сыпучих тел на вертикальную и наклонную плоскости согласно формулам строительной механики отличается от гидростатического давления, так как в сыпучих телах есть коэффициент внутреннего трения, отличающийся от внутреннего трения в жидкостях и газах, кроме того, присутствует трение между стенкой и грузом и разрывность приложения нагрузки – пустоты между элементами груза и прочие факторы. Давление на стенки и дно бункеров тем больше, чем меньше внутреннее трение сыпучего тела. Коэффициент внутреннего трения значительно колеблется для одного и того же материала [2] и величина его сильно зависит от пористости сыпучего материала, влажности, гранулометрического состава и многих других факторов. От формы истечения горной массы и от последовательности ее заполнения и выгрузки значительно изменяется давление на стенки и дно бункера.

Рассмотрим и сравним приведенные ниже зависимости для расчета давления горной массы на боковые стенки, учитывающие внутреннее и внешнее трение сыпучего материала.

По методу Кулона [1]

$$P = \frac{(1 + K_d) \cdot \gamma \cdot h \cdot \cos^2(\beta - \varphi) \cdot \cos(\delta + \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot (\sin(\varphi - \eta))}{\cos(\beta + \delta) \cdot (\cos(\beta - \eta))}} \right]},$$

где δ – угол трения горной массы по металлу, рад;
 φ – угол внутреннего трения горной массы, рад;
 η – угол наклона к горизонтали, град;

По Цытовичу [1]

$$P = (1 + K_d) \cdot \gamma \cdot h \cdot \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi + \beta}{2} \right) + \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cdot \cos^2 \beta.$$

По Янсену [1]

$$P = (1 + K_d) \cdot \left(\cos^2 \alpha + \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \sin^2 \alpha \right) \cdot \rho \gamma \times \\ \times \left(1 - e^{-\frac{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot f_1 \cdot h}{\rho}} \right) \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right),$$

где ρ – гидравлический радиус горизонтального сечения, мм.

Установлено, что давление на стенки бункера по периметру на одном уровне в процессе загрузки и разгрузки неравномерно: давление максимально в

конечном периоде загрузки и в начальном периоде разгрузки бункера и превышает на (40 – 100) % среднюю величину давления при состоянии покоя горной массы [2].

Превышение расчетного давления при загрузке горной массы связано с наличием дополнительного давления воздуха, сжатого между частицами сыпучего материала. За время выдержки сжатый воздух выходит из материала и его давление падает до нуля. В начальный момент разгрузки наблюдается неравномерное движение горной массы в бункере, резкие передвижения всего столба сыпучего материала, давление на стенки колеблется в значительных пределах. После образования столба и канала истечения сыпучего материала из бункера процесс разгрузки стабилизируется, а давление на стенки становится более равномерным.

Основными критериями качества при оптимизации новой металлоконструкции бункерной системы были выбраны масса и технологичность конструкции. За ограничения взяты геометрия бункера, параметры прочности системы.

Бункеры, гидравлические радиусы выпускных отверстий у которых больше, чем радиус сводаобразующего отверстия, должны обеспечить устойчивое истечение горной массы. Для непрерывного и равномерного истечения горной массы, кроме размеров, необходимо также выбрать рациональные углы наклона стенок и ребер бункеров к горизонту [2].

Основным условием нормальной разгрузки является превышение углов наклона стенок бункера над углом естественного откоса сыпучего материала [3].

Следует отметить, что эффективной формой поверхности стенок бункеров является не плоскость, а вогнутая поверхность по гиперболической кривой. Рассмотрим бункеры, стенки которых установлены под постоянным углом наклона к горизонту.

Рациональный угол наклона таких стенок бункера зависит в основном от коэффициента внешнего трения сыпучего материала и может быть найден по формуле [3]:

$$\cos \alpha = \sqrt{4 \cdot f_1^4 + 1 - 2 \cdot f_1^2},$$

где f_1 – коэффициент внешнего трения.

Следовательно, при проектировании бункеров угол наклона стенок необходимо принимать несколько больше расчетной величины, т.к. необходимо учесть увеличение коэффициента трения в результате коррозии стенок бункеров и налипания на них остатков сыпучего материала, при этом угол наклона к вертикали, который обеспечивает движение материала, зависит от формы выпускного отверстия.

Для улучшения истечения горной массы необходимо, чтобы углы наклона ребер бункеров, образованных смежными стенками, также превышали угол трения материала о стенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров С.А. Перемещение и складирование горной массы. М.: МГТУ, 2000.
2. Куликов О.Ю. Выпуск руды. М.: Недра, 1980.
3. Малахов Г.М., Безух В.Р., Петренко П.Д. Теория и практика выпуска руды. М.: Недра, 1986.