

От количества вводимого С-3 зависит преобладание первого или второго фактора действия добавки. Повышение содержания С-3 в вяжущем ведет к преобладанию второго фактора. Поскольку для существенного увеличения подвижности гипсового теста С-3 требуется вводить в повышенном количестве (2-2,5 %), то прочность образцов с его применением имеет тенденцию к снижению.

Результаты исследований по изучению влияния добавки гиперпластификатора Melflux на физико-механические свойства образцов на основе гипсовой смеси представлены в таблице 2.

Экспериментальные данные показывают, что при введении добавки Melflux при одинаковом В/Г смеси прочность образцов остается примерно на одном уровне, несмотря на то, что подвижность смеси с добавкой имеет литую консистенцию, а без добавки – на уровне нормальной густоты. Материал, удовлетворяющий требованиям СНиП, обеспечивается при введении добавки в количестве 0,4 %. В этом случае при литой консистенции теста (расплыв по Суттарду равен 25 см) прочность затвердевших и высушенных образцов со-

ставляет 17,8 МПа. Такая прочность достаточна при устройстве стяжки под обычные покрытия (линолеум, паркет и др.), но недостаточна для стяжек, укладываемых под полимерные монолитные покрытия. В последнем случае требуется прочность на сжатие не менее 20 МПа. Кроме того, изготавливать стяжки из теста, приготовленного из «чистого» гипсового вяжущего, представляется экономически нецелесообразным.

Таблица 2 – Влияние добавки гиперпластификатора Melflux на физико-механические свойства гипсовых образцов

Содержание гиперпластификатора Melflux, %	Показатели смеси		Показатели материала в сухом состоянии		
	В/Г	расплыв по Суттарду, см	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$R_{сж}$ , МПа	$R_{нз}$ , МПа
1	2	3	4	5	6
–	0,6	18	1250	9,3	3,8
0,2	0,6	25	1230	9,1	3,5
0,2	0,48	18	1320	18,6	6,1
0,4	0,48	25	1325	17,8	5,8
0,4	0,39	18	1460	25,0	6,5

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василик П.Г., Голубев И.В. Особенности применения поликарбоксилатных гиперпластификаторов Melflux // Строительные материалы. 2003. № 9. С. 24-26.
2. Гиперпластификатор Хидетал-ГП-9 для производства самоуплотняющихся и высокоподвижных бетонов // Технологии бетонов. 2007. № 5. С. 12.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М., 1998. 768 с.
4. Садуакасов М.С. Модификация гипсовых вяжущих нафталинформальдегидными суперпластификаторами и исследование свойств изделий на их основе: Дис. ... д-ра техн. наук. Алматы, 1994. 258 с.

**УДК 622.693**  
**МАЛЫБАЕВ С.К.**  
**ТОГИЗБАЕВА Б.Б.**  
**КЕНЕСБЕК А.Б.**

### Влияние физико-механических свойств руды на потерю сыпучести

Изучение физико-механических свойств рудной массы, ее состояние в различных условиях эксплуатации и установление наихудших условий, создающих экстремальные процессы, вызывающие потерю сыпучести, является главной задачей, решение которой может способствовать разработке мер и способов борьбы с указанным явлением и разработке методики расчета устройств, способствующих полной выгрузке рудной массы с целью предотвращения ее слеживания. Этому вопросу и посвящены данные исследования.

Для достижения поставленной цели необходимо более тщательно проанализировать исследования, посвященные данной проблеме, выявить основные факторы, влияющие на потерю сыпучести, составить модель загрузки, хранения и выгрузки мелкодробленой руды, определить основные параметры, влияющие на потерю сыпучести, и определить направления по экспериментальной проверке факторов, заложенных при аналитических исследованиях.

Для исследования процесса слеживания можно воспользоваться основными положениями механики сыпучих сред, то есть необходимо сделать следующие допущения.

Существуют две модели сыпучего материала. Согласно одной из них, в соответствии с законами механики сплошных сред, процесс рассматривается как изотропный. Малые, по сравнению с вмещающим сосудом, частицы столь тесно связаны между собой, что силовое воздействие обуславливает возникновение нормальных и касательных напряжений, а перемещение частиц в объеме материала возможно лишь при превышении действующими напряжениями предельных значений [1]. По мере измельчения частиц силы трения все сильнее как по своей природе, так и по значениям приближаются к касательным напряжениям среза, а среднее направление напряжений сжатия вследствие малого размера и многочисленности частиц стремится к направлению сжимающего усилия. Одновременно значительно возрастают силы сцепления между частицами, обуславливающие упругость. Очевидно, что при увеличении частиц и переходе к конечному отношению размеров сосуда и находящихся в нем кусков уменьшается правомерность аналогии между сыпучим материалом и сплошной средой.

Согласно другой теории, модель сыпучего материала представляется как совокупность твердых неиз-

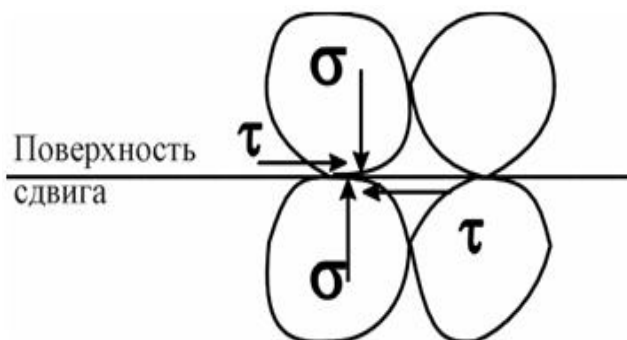
меняемых частиц, связь между которыми осуществляется только силами сухого трения.

Для проверки адекватности модели мелкодробленой руды были проведены исследования физико-механических свойств рудной массы.

Однако модель мелкодробленой руды при различных условиях можно рассматривать с двух точек зрения. Чтобы определить, какую теорию использовать при составлении модели, необходимо изучить влияние всех факторов.

Процесс слеживания проявляется больше в мелких фракциях сыпучего материала с размером кусков в интервале 0,13 мм- 2 мм и даже до 10 мм при влажности, превышающей (3...5) %. Наибольшие изменения в величинах показателей сдвига происходят в начальный период хранения.

Одним из основных факторов, определяющих величину начального сопротивления сдвигу, по мнению ряда авторов, является напряженное состояние сыпучего материала (рисунок). При воздействии внешних нагрузок на сыпучий материал происходит пластическая деформация, в результате этого сокращаются расстояния между отдельными частицами и усиливаются связи между ними. Напряженное состояние сыпучего материала определяется взаимодействием частиц, размерами бункера и условием загрузки. Последнее обстоятельство приобретает исключительно важное значение для бункеров, загружаемых через загрузочное устройство с большой высоты.



Напряженное состояние оценивается по величинам нормального давления на днище и бокового давления на стенки бункера.

Исследованиями [2] установлено, что боковое и вертикальное давления, создаваемые мелкими фракциями руд, больше, чем при аккумуляции крупнокускового материала. Увеличение бокового давления происходит даже при незначительном содержании мелких фракций в смеси, а при 20 % содержании мелочи величина давления может превышать значение, полученное для крупных фракций на 40 %. Вместе с тем, в работе [2] указывается, что вертикальное давление снижается при наличии в руде мелкой фракции.

Таким образом, при решении задач управления работой бункеров особую актуальность приобретает вопрос, связанный с влиянием высоты столба сыпучего материала на физические процессы, происходящие с рудой в бункере и при истечении его из отверстий. Наряду с предположениями о влиянии вертикального давления на движение сыпучего материала и данными

о зависимости этого давления от высоты столба имеются прямо противоположные им результаты. Так, Ю.И. Анистратов [1] показал независимость давления руды на дно сосуда или плоскость отверстия от высоты слоя и объяснил это сводообразованием, когда образующийся устойчивый параболический свод воспринимает нагрузку от вышележащих слоев. Соответственно, давление на плоскость отверстия определяется весом лежащего под сводом сыпучего материала. Взаимоисключающие оценки влияния высоты слоя характерны для работ, посвященных выявлению факторов, определяющих скорость истечения сыпучих материалов из отверстий. В то же время анализ литературных данных свидетельствует, что чем больше отношение высоты слоя к его поперечному сечению (диаметру выпускного отверстия), тем яснее проявлялась независимость вертикального давления от этой высоты, точнее постоянство его по достижении некоторой кратной размеру воспринимающей площадки высоты.

Заслуживает серьезного внимания, особенно с точки зрения методики экспериментов и выбора предпосылок при анализе, зависимость величины вертикального давления на днище от характера загрузки материалов. Так, при быстром высыпании порции активный вес составлял к моменту заполнения модели 15 % от общего веса столба материалов, а при длительном и непрерывном высыпании в течение нескольких минут он достигал 20...25 %. При сопоставлении данных видно, что исходная структура столба материала зависит как от энергии, приобретаемой частицами к моменту встречи с поверхностью засыпи, так и от возможности реализовать ее для перемещения в направлении заполнения возможных пустот и создания наиболее плотной, а следовательно, и обладающей наименьшей потенциальной энергией структуры слоя. В работе [1] показано, что плотность укладки частиц и коэффициент внутреннего трения в столбе материала зависит от способа формирования сыпучего тела и изменяется по высоте слоя в соответствии со следующей эмпирической зависимостью

$$f = f_1 + d [\exp (c H - 1)], \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр выпускного отверстия, м;

$f$  – коэффициент внутреннего трения;

$H$  – высота слоя сыпучего материала, м;

$c$  – эмпирический коэффициент.

Анализ данного выражения показывает, что коэффициент внутреннего трения возрастает с увеличением расстояния от анализируемого горизонта до уровня засыпи. Последнее относится к неподвижному столбу материала. Очевидно, при его движении в результате выпуска из отверстия связь коэффициента внутреннего трения с высотой слоя будет иметь более сложный характер.

Повышение же влажности крупнокускового материала приводит к росту вертикального давления. Рост влажности мелкого материала характеризуется снижением вертикального уплотнения и увеличения бокового распора.

Исследованиями [2], проведенными для бункеров круглого сечения, установлено влияние их размеров

на величину нормального давления. В работе [2] указывается, что увеличение сечения емкости приводит к росту уплотнения рудной массы (для бункеров диаметром 5,5 м давление на днище составляет 0,9 МПа, а для бункеров диаметром 11 м – 2 МПа). По данным работ [1, 2], минимальное уплотнение рудной массы имеет место при определенном соотношении высоты бункера к его диаметру. Опытным путем установлено, что для угля величина этого соотношения составляет (2...2,5) при влажности меньше 6 % и (1,8...2,2) при влажности больше 6 %. В работе [2] показано, что при углах наклона стенок бункера более 55° происходит снижение нормального давления. Более пологие углы наклона не влияют на величину напряженного состояния: с ростом коэффициента внешнего трения нормальное давление на днище бункера уменьшается. Для снижения вертикальных уплотняющих напряжений при аккумулировании малоподвижных материалов рекомендуется использовать бункер с гиперболическим профилем стенок.

В результате исследований показано, что оптимальное истечение сыпучего материала происходит из объемов, имеющих форму эллипсоидов вращения [1]. Параметры эллипсоида выпуска определяются размерами выпускного отверстия и свойствами сыпучего материала. Истечение сыпучего материала из объемов, лежащих вне эллипсоида выпуска, происходит лишь после достижения вершиной эллипсоида поверхности сыпучего материала. При этом на поверхности руды образуется воронка внедрения, по образующей которой и далее по вертикальному каналу рудная масса стекает к выпускному отверстию.

При выпуске малоподвижных материалов картина истечения усложняется. Существует мнение, что сыпучий материал участвует в комбинированном движении стекания и скольжения. Наблюдения за эксплуатацией бункеров на обогатительной фабрике корпорации «Казахмыс» показали, что при прямоугольной форме сечения бункера в плане рудная масса способна «залипать» в углах бункера, что приводит к значительному снижению полезной емкости, в бункере же с

овальной формой сечения налипания сыпучего материала не наблюдалось.

Снижение величины «мертвых зон» в бункерах достигается с помощью потокоотделителя. Последнее уменьшает сегрегацию сыпучего материала при загрузке.

Бесперебойное истечение рудной массы из бункера и обеспечение необходимой производительности выпуска в значительной степени определяется правильным выбором формы и размеров выпускного отверстия, конструкции питателей и углов наклона днищ бункера.

Различными авторами предложен ряд формул для расчета наименьшего размера выпускного отверстия, исключающих сводообразование.

Ю.И. Анистратов предложил формулу для определения диаметра выпускного отверстия в зависимости от времени хранения сыпучего материала.

Результаты исследований влияния соотношений сторон выпускного отверстия на показатели выпуска противоречивы. Так, для плохосыпучих материалов в работе рекомендуется принимать отношение высоты отверстия к его ширине в диапазоне 0,6-0,9, а в работе – уже в пределах 2-3. Увеличение сечений выпускного отверстия приводит к росту производительности выпуска.

Установлено, что правильно выбранная конструкция питателя и режим его работы также оказывают существенное влияние на истечение сыпучего материала из бункера. Наилучшие результаты дает использование вибрационных питателей. При взаимодействии вибрирующей плоскости питателя с сыпучим материалом происходит передача энергии в этот материал. Часть энергии расходуется на перемещение частиц, изменение плотности сыпучего материала, снижение сопротивления сдвигу и угла внутреннего трения. Аналогичный эффект улучшения сыпучих характеристик рудной массы достигается при применении вибрационных побудителей выпуска, представляющих собой вибрирующие элементы, устанавливаемые в опасных зонах бункеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анистратов Ю.И., Жабин Н.И., Мисник Ю.М. Теория и практика бункеризации склонной к слеживанию горной массы. М.: Наука, 1988.
2. Тогизбаева Б.Б. Совершенствование средств и способов выпуска мелкодробленной медной руды из бункеров ОФ: Дис. канд.техн. наук.: 2002. – Караганда, 2002.

**УДК 666.972.16**

**РАХИМОВ М.А.,  
СЕРОВА Р.Ф.,  
РАХИМОВА Г.М.**

#### Реологические свойства бетонов с органоминеральным модификатором типа ОМД-М

Решение задач, связанных с улучшением качества технологических приемов и физико-технических свойств цементных материалов, в частности, тяжелого бетона с позиций современных представлений физико-химических поверхностных явлений и теории конгломератов, неразрывно связано с применением многокомпонентных модификаторов (добавок) [1].

В этой связи интерес представляют модификаторы, содержащие гидрофобизирующие ингредиенты, которые в составе многокомпонентных добавок обеспечивают регулирование конструктивных и деструктивных процессов в цементных материалах во времени (в период эксплуатации различных бетонных объектов, зданий и сооружений).