

УДК 622.83.001.5

ИЗМЕНЕНИЕ БОКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТОЯНИЯ СЫПУЧЕГО ТЕЛА

Р. Э. Юдин

При разработке угольных пластов с применением гибких перекрытий и различного рода щитов часто бывает необходимо правильно определить боковое давление закладки на вертикальную или наклонную стенки. Методы определения величины вертикального давления в основном в технической литературе освещены. Значительно менее исследовано боковое давление, которое можно рассматривать как следствие распора между кусками породы, находящейся под вертикальной нагрузкой [3].

Исследования показывают, что большое влияние на величину бокового давления оказывает состояние сыпучего тела. При переходе сыпучего материала из неподвижного состояния в подвижное степень его разрыхления увеличивается и величина бокового давления значительно возрастает. Между тем известные расчетные формулы построены на основании схем, предусматривающих неподвижное равновесное состояние сыпучего тела, поэтому использование их не обеспечивает правильного решения во всех случаях.

Вслед за перемещением забоя перемещаются ограждение и закладочный материал. Наиболее правильным методом исследований закономерностей изменения величины бокового давления в рассматриваемых условиях является моделирование в условиях, близких к натурным. По установлению величины давления сыпучих материалов на стенки модели известны лабораторные исследования Г. Янса на крупномасштабных моделях [5]. Он выявил зависимость давления от свойств исследуемых сыпучих материалов и угла падения пласта, но изменение величины бокового давления в зависимости от состояния (покой или движение) сыпучего материала осталось не установленным, хотя и высказывалось предположение о значительном увеличении бокового давления при переходе закладочного материала из состояния покоя в движение.

В лаборатории Кемеровского горного института исследовалось на моделях взаимодействие сыпучих пород с ограждающей крепью, устанавливался характер движения сыпучей породы и формирования нагрузок на крепь [1]. В процессе опытов замерялись нагрузки на крепь как в точке подвески крепи (вертикальные нагрузки), так и по площади крепи (боковые нагрузки), но при этом не выявлялись закономерности бокового давления в зависимости от свойств и состояния сыпучей породы.

В лаборатории Ленинградского горного института изучались на моделях закономерности изменения величины бокового давления в зависимости от свойств сыпучих материалов, состояния, в котором находится давящий объем материала (покой или движение), и от угла наклона забоя. В качестве сыпучих материалов использовались мелкий кварцевый песок, дробленая каменная соль и дробленый диабаз. Размер кусков, объемный вес и коэффициент внутреннего трения этих материалов различны. Это позволило более правильно установить закономерности изменения бокового давления в зависимости от свойств давящего объема. Исследования велись при углах падения 45, 60, 75 и 90°. Размеры моделей предусматривали возможное снижение влияния боковых стенок и полное исключение свободообразования материала.

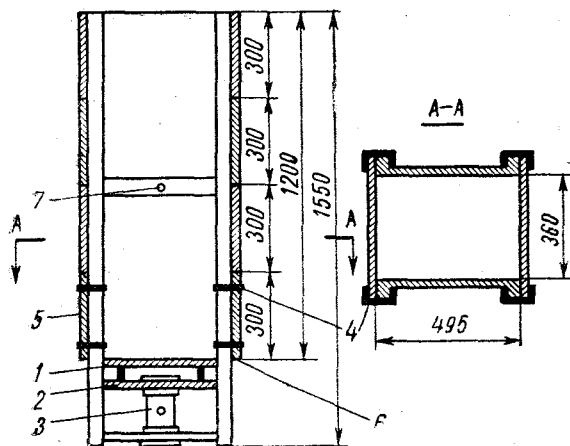


Схема стенда

лов. Замеры давления производились как при состоянии относительного покоя материала, так и при движении.

Эксперименты производились на двух стендах — высоких ящиках с жесткими стенками (см. рисунок). Между дном 1 и опорой 2, которая перемещалась при помощи специального винта 3, устанавливались динамометры с тензометрическими датчиками 4. Такие же динамометры устанавливались на боковых щитах 5 и 6. Боковые щиты для увеличения жесткости крепились к металлическому каркасу. Щиты с динамометрами усиливались дополнительно металлическими полосами. Наличие шарнира 7 позволяло устанавливать стенд под любым необходимым углом (от 0 до 90°).

Таким образом, конструкция стенда допускала одновременные замеры изменения нагрузок на дно и боковые щиты при различных углах наклона стенда. Выбранные размеры моделей (высота 1200 мм, ширина дна — мощность пласта 360 и 400 мм) позволяли при засыпке достигать высоты столба породы, превышающей ширину дна в 3—3,4 раза, т. е. высоты, при достижении которой давление на дно остается почти постоянным.

Гранулометрический состав использованных сыпучих материалов следующий:

Кварцевый песок

0—0,10 мм	3,0	весовых %
0,10—0,25 "	43,0	" "
0,25—0,40 "	50,5	" "
0,40—1,00 "	3,5	" "

Дробленая каменная соль

До 5,0 мм	40	весовых %
5,0—10,0 "	25	" "
10,0—20,0 "	18	" "
Свыше 20,0 "	17	" "

Дробленый диабаз

До 5,0 мм	3,5	весовых %
5,0—10,0 "	32,0	" "
10,0—20,0 "	64,5	" "

В рассматриваемых условиях большое значение имеет правильное определение коэффициента внутреннего трения f , который, как известно, служит критерием подобия при исследованиях на моделях сыпучих материалов. Известные методы определения f могут обеспечить более

или менее правильные результаты только для мелкозернистых пород (песков, глины) [2]. Надежный метод определения f крупнокусковатых пород еще неизвестен.

Таблица 1

Характеристика материалов

Материал	Объемный вес, кг/дм ³	Угол естественного откоса, град	f
Кварцевый песок	1,60	34,5	0,7
Каменная соль	1,45	37	0,75
Диабаз	1,80	41	0,87

В наших исследованиях использован самый распространенный метод определения f для сыпучих материалов — по углу естественного откоса (табл. 1).

До и после опыта стенд тариrowался нагрузкой и разгрузкой каждого щита. Сыпучие материалы засыпались тонкой струей без ударной нагрузки на щиты слоями высотой 7,5 см. Нагрузки на дно и боковые щиты замерялись при засылке очередной порции сыпучего материала. После засыпки на всю высоту стенда при помощи винта 3 дно опускалось при вертикальных ограждающих стенках на 1,5—4 мм за один прием. При этом давление на дно уменьшалось. Когда давление достигало примерно постоянной величины, опускание дна прекращалось, стенд устанавливался под углом 75° и снова опускалось дно до достижения минимального давления на него. Таким же образом замерялись нагрузки при углах наклона стенда 60 и 45°.

После выгрузки материала стенд тариrowался и корректировались цены деления приборов, полученные перед опытом. Обычно данные тарировки до и после опыта не отличались более чем на 10%. Только в шести случаях (боковой щит 6) расхождение составило 15—20%.

Из 26 опытов с песком проведено 6, с каменной солью 11 и диабазом 9. В процессе каждого опыта производилось от 70 до 110 замеров давления на дно и боковые щиты (всего около 3000 замеров). Сводные результаты замеров для песка, каменной соли и диабаза даны в табл. 2, где приведены величины давлений на дно 1 (см. рисунок), на боковой щит 5, расположенный у почвы пласта, и боковой щит 6, расположенный у кровли пласта. Коэффициент бокового распора зависит от свойств сыпучего материала: для подвижной мелкозернистой породы (песка) средний коэффициент бокового распора равен 0,45, для малоподвижного крупнокусковатого (диабаз) — 0,33. Абсолютная величина бокового давления на вертикальную стенку при движении мелкозернистого материала соответственно возрастает в 1,1,—1,4 раза, а для крупнозернистого — в 1,2—1,6 раза.

При уменьшении угла наклона модели давление на почву значительно возрастает, а на кровлю снижается с учетом составляющей веса породы.

Средние сводные показатели опытов

Угол наклона стенда, град	Дно	Боковой щит 5		Боковой щит 6	
	Давление, кг/см ²	Давление, кг/см ²	Коэффициент бокового распора	Давление, кг/см ²	Коэффициент бокового распора

Кварцевый песок весом 323 кг, высота столба 119 см, $f = 0,7$

90*	6,06	2,62	0,43	2,79	0,46
90	5,13	2,89	—	3,06	—
75	4,29	4,42	—	3,10	—
60	4,26	5,50	—	2,10	—
45	2,74	6,76	—	1,44	—

Каменная соль весом 272 кг, высота столба 112 см, $f = 0,75$

90*	6,14	2,59	0,42	2,44	0,40
90	2,80	3,44	—	3,65	—
75	2,40	3,99	—	2,76	—
60	2,64	5,27	—	1,84	—
45	2,36	7,01	—	1,15	—

Диабаз весом 357 кг, высота столба 119 см, $f = 0,87$

90*	6,72	2,16	0,325	2,25	0,334
90	2,29	2,38	—	2,50	—
60	2,19	5,19	—	1,54	—
45	1,82	6,70	—	0,57	—

* Порода находилась в покое, в остальных случаях — в движении.

Выводы

1. Величина бокового давления зависит от состояния давящего объема породы. При перемещении сыпучего материала величина бокового давления значительно возрастает.

2. Увеличение бокового давления при движении зависит от крупности кусков сыпучего материала. При переходе из состояния относительного покоя в движение сыпучего материала при вертикальных стенках средняя величина бокового давления увеличивается на 10%, а крупнокусковых — на 40%. Наибольшее абсолютное значение бокового давления наблюдалось при крупной каменной соли с гладкой поверхностью кусков.

3. Боковое давление при относительном покое зависит от степени подвижности сыпучего материала: при мелком песке ($f \approx 0,7$) среднее значение бокового давления составляет 2,70 кг/см², а при диабазе ($f = 0,87$) 2,20 кг/см².

Настоящую работу надо рассматривать как одну из попыток исследования изменения величины бокового давления в зависимости от свойств и состояния сыпучих горных пород. Учитывая сложность протекающих явлений, исследования в этом направлении следует продолжить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурцев А. И. О взаимодействии сыпучих пород с ограждающими крепями. Известия вузов, «Горный журнал», 1961, № 11.
2. Ломтадзе В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов. Госгеолиздат, 1952.
3. Махно Е. Я. Вопросы разработки крутопадающих пластов угля с применением щитовой крепи. Углетехиздат, 1957.
4. Цытович Н. А. Механика грунтов. Стройиздат, 1952.
5. Jahn H. Glückauf, 1960, H. 5.