

# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЛОЧНОГО МАССИВА

И.Л.Болтенгаген

*Институт горного дела СО РАН, Новосибирск*

**АННОТАЦИЯ:** Предложен способ моделирования блочного массива в лабораторных условиях с помощью наклонной плоскости. Приведены результаты ряда опытов, иллюстрирующих основные особенности деформирования дискретной среды.

Предлагается простой экономичный стенд для лабораторных исследований механических свойств среды, состоящей из отдельных блоков. На плоскую горизонтальную прямоугольную поверхность, ограниченную рейками, выкладываются блоки, моделирующие массив горных пород с выработками. Затем стенд наклоняется. При угле наклона плоскости  $\alpha$  большем  $\varphi$ , где  $\operatorname{tg}\varphi = \mu$  – коэффициент трения блоков по поверхности, происходит скольжение блоков под действием силы  $F$

$$F = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha).$$

Взаимное трение блоков друг о друга препятствует их падению. Приведенные рисунки иллюстрируют характер деформирования блочного массива.

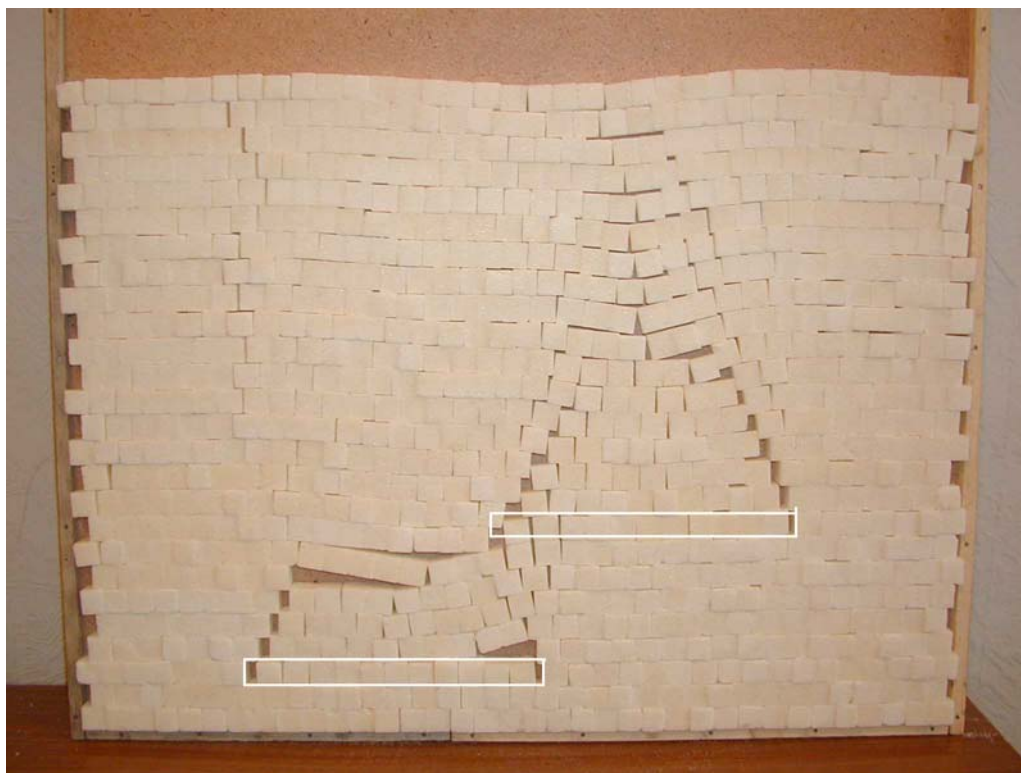


Рис.1. Блочный массив с двумя выработками (белые прямоугольники) высотой 1 блок и шириной в 12 блоков на горизонтах, разделенных 5-ю блоками. Левая граница верхней выработки расположена над нижней выработкой на расстоянии 2 блоков от ее правой границы.

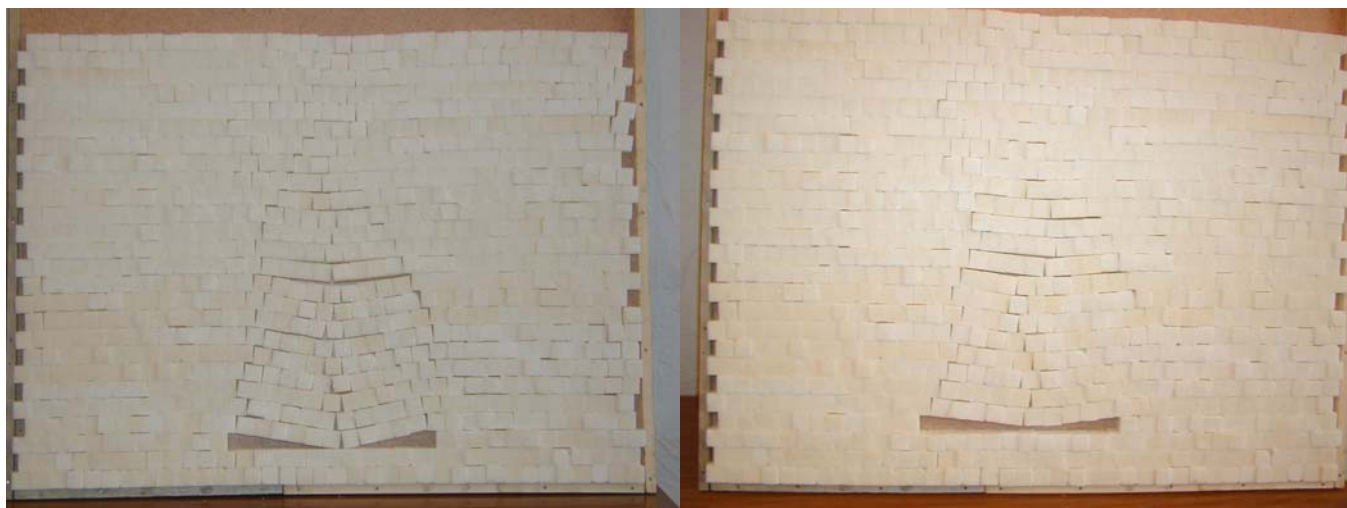


Рис.2 Формирование зоны расслоений над выработкой шириной 12 блоков (слева) и 11 блоков (справа).



Рис.3. Сопоставление зон расслоений над выработками высотой в 1 блок и шириной 27 (Слева) и 23 (справа) блоков.



Рис.4. Выработки высотой в 1 блок разделены целиком шириной в 4 блока (слева) и шириной в 2 блока (справа). Ширина выработок – 12 блоков (слева) и 13 блоков (справа).

Рис.1 иллюстрирует две основные особенности деформирования блочного массива: способность блоков объединяться в блоки больших размеров (консолидация блоков) и формирование линий локализации деформации при взаимных перемещениях соседних блоков. На рис.2 показано формирование

расслоений налегающей толщи над выработками высотой в 1 блок и шириной в 12 (слева) и 11 (справа) блоков. Рис.3 иллюстрирует развитие зоны расслоений с увеличением ширины выработки. На рис.4 показан характер деформирования массива вокруг двух выработок, между которыми находится целик.

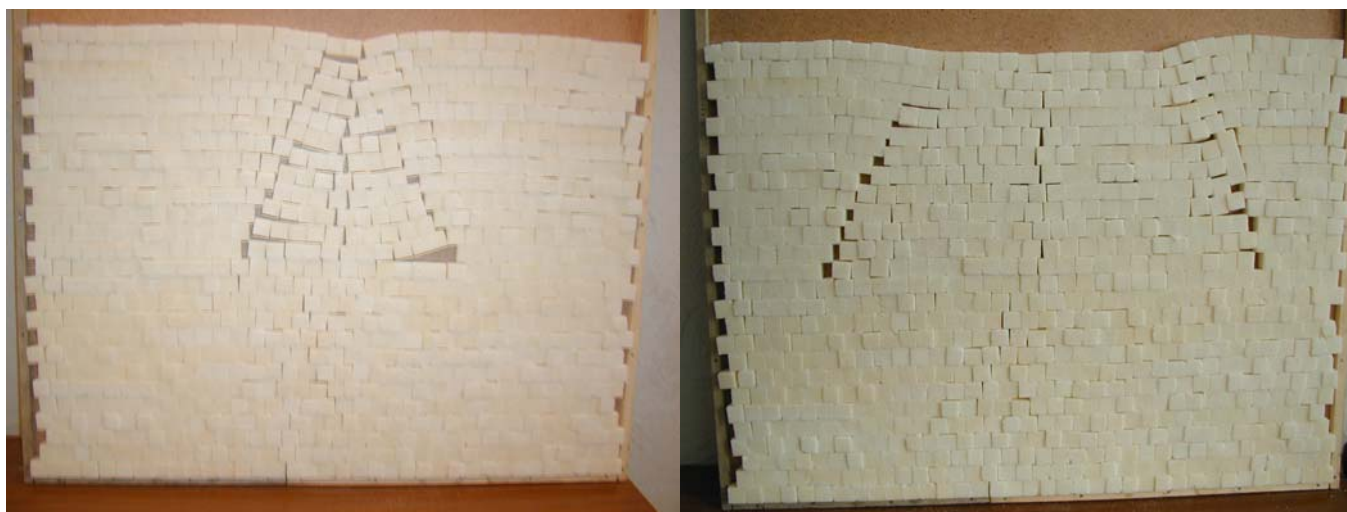


Рис.5. Зона расслоений над выработками высотой в 1 блок на глубине 12 блоков. Ширина выработок – 12 блоков (слева) и 11 блока (справа).

Рис.5 иллюстрирует деформирование блочного массива над выработками вблизи дневной поверхности. Рис.6 (слева) показывает разрушение массива между двумя выработками, расположенными друг над другом на расстоянии 5 блоков (высота выработок – 1 блок, ширина – 12 блоков). Рис.6 (справа) иллюстрирует зоны расслоений над выработками шириной 12 блоков, разнесенными по высоте на 5 блоков (левая граница верхней выработки находится над правой границей нижней выработки).

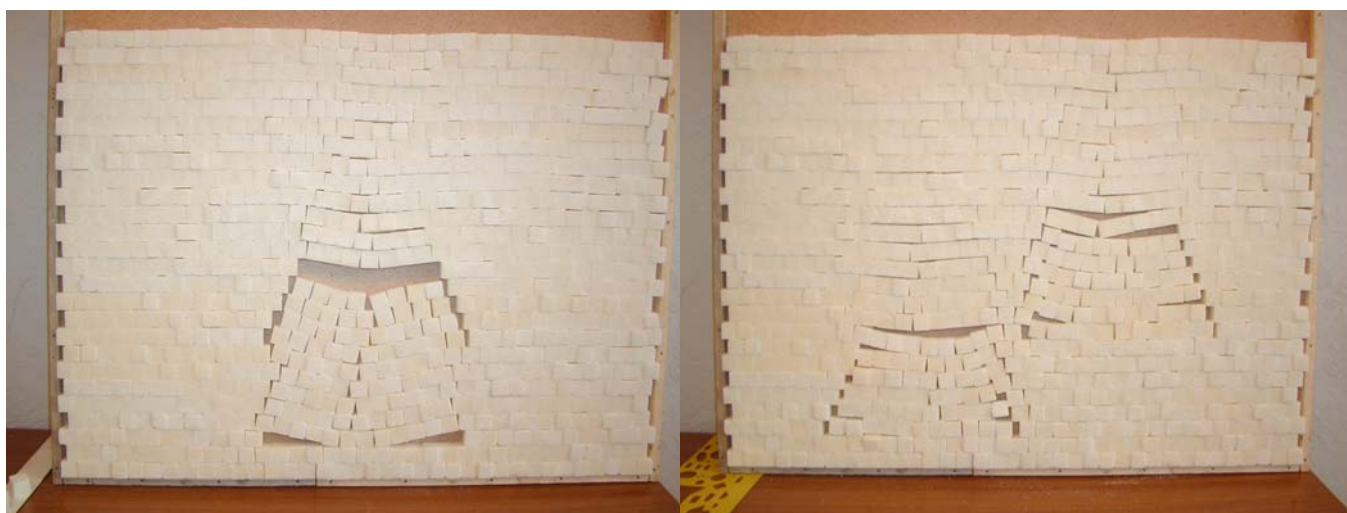


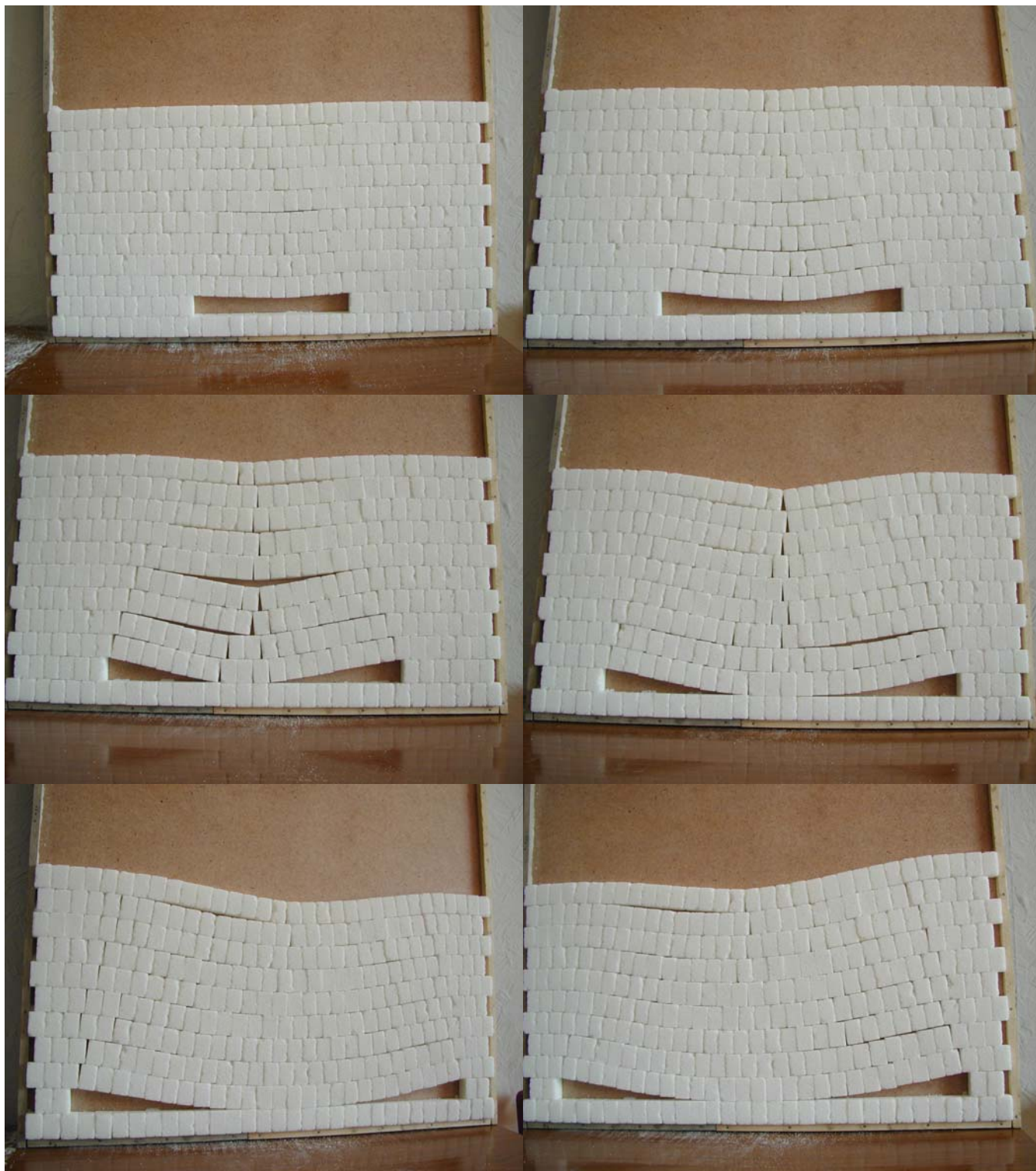
Рис.6. Характер деформирования массива вокруг выработок, расположенных на высоте 5 блоков друг от друга. Слева – перед началом опыта выработки шириной в 12 блоков находятся друг над другом. Справа – перед началом опыта выработки разнесены по горизонтали (правая граница нижней выработки расположена под левой границей верхней выработки).



**Рис.7.** Развитие зоны обрушения при последовательном увеличении ширины выработки высотой 1 блок. Массив сформирован прямоугольными блоками таким образом, что большая сторона блоков расположена горизонтально.

Показанные на рис.1-6 массивы сформированы блоками кубической формы, размещенными по поверхности стенда таким образом, что центры блоков нижнего слоя расположены под контактом блоков верхнего слоя. Для оценки влияния формы блока на характер деформирования массива были проведены опыты с блоками в форме параллелепипедов. Рис.7 иллюстрирует развитие зон расслоений над выработкой с увеличением ее ширины при формировании массива блоками в виде кирпичной кладки. На рис.8 показан массив, сложенный прямоугольными блоками

таким образом, что большая сторона блоков расположена вертикально. Последний вариант формирования блочного массива характеризуется меньшей кинематической свободой перемещения блоков и является более устойчивым в сравнении с вариантом кирпичной кладки блоков большей стороной в горизонтальном направлении.



**Рис.8.** Развитие зоны обрушения при последовательном увеличении ширины выработки высотой 1 блок. Массив сформирован прямоугольными блоками таким образом, что большая сторона блоков расположена вертикально. Последние два снимка показывают один опыт с правой и левой стороны с целью лучшей иллюстрации линий локализации деформаций над границами полости и в подработанном массиве.

Коэффициент трения блоков о поверхность – около 0.3. Величина коэффициента трения блоков друг о друга находится в интервале значений 0.8-1.

Предложенный способ моделирования является доступной и экономичной альтернативой методу физического моделирования на фрикционной базе. [1]. Почти вертикальное размещение наклонной плоскости на заключительной стадии экспериментов обеспечивает эквивалентность гравитационных сил в модели и в ее реальном прототипе. При равных коэффициентах трения блоков в модели и в массиве коэффициент подобия равен  $\gamma L/\sigma$ , где соответствующие величины обозначают удельный вес, длину и напряжение.

В качестве блоков могут быть использованы любые материалы. Например, пластмассовые кубики или параллелепипеды (в частности, костяшки домино). Образцы могут быть изготовлены из влажной соли, высушенной после помещения в формы\*. Наиболее простым вариантом блоков являются разнообразные кубики и параллелепипеды из прессованных кристаллов сахара, близкие по своим контактным свойствам к образцам горных пород.

Несмотря на широкое применение методов компьютерного моделирования, математические методы анализа дискретной среды в настоящее время недостаточно разработаны. Физическое моделирование наглядно демонстрирует поведение блочного массива в простых лабораторных опытах. Данный способ, позволяющий исследовать деформирование искусственного массива, созданного из блоков твердеющей закладки, перспективен для моделирования процессов выемки рудных залежей с последовательным заполнением выработанного пространства твердеющими смесями.

В заключение автор выражает признательность Анатолии Семеновичу Изотову и Александру Сергеевичу Кузнецову за помощь в проведении экспериментов, а также заведующему лабораторией «Диагностики механического состояния массива горных пород» Института горного дела СО РАН Василию Дмитриевичу Барышникову за предоставленную возможность выполнить данные исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**1. Введение** в механику скальных пород / под ред. Р.Бока. –М.: Мир, 1983.

---

\* Данный способ предложен сотрудницей ИГД СО РАН Мясниковой Н.П.