

УДК 658.32:622.33

**В.А. Бабелло**

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СРЕЗА ЦЕЛИКОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Приведены основные сведения о конструкции нового устройства для испытаний нескальных пород в полевых условиях методом одноплоскостного среза, описана методика проведения испытаний, дана оценка результатов опытов с различными видами отвальных пород. Установлено, что условия разрушения выделенных призм пород в новом приборе позволяет получить более надежные сведения о прочности исследуемых пород.*

*Ключевые слова: срез целиков пород, прогностные свойства, пригрузка массива.*

---

**V.A. Babello**

### **THE MAIN FEATURES OF "CUT-OFF" BLOCK TECHNIQUE**

*The main information on the design of new devices for testing is not rock in the field by a single planar slice, describes the methodology for conducting the tests, evaluated the results of experiments with different kinds of piles of rocks-tion. Established that the conditions for the destruction of selected species in a new prism for-bore provides more reliable information about the strength of the studied species.*

*Key words: cut off a rock block, forecast characteristics, surcharging of rock mass.*

**С**овременный уровень развития открытых горных разработок характеризуется освоением месторождений с разнообразными горно-геологическими условиями, высокой интенсивностью горных работ, значительным увеличением глубины карьеров. Одновременно с интенсификацией добычи полезных ископаемых наблюдается рост случаев появления недопустимых деформаций бортов и отвалов, что приводит к значительным дополнительным затратам на ликвидацию их последствий. Забайкальский край является одним из крупных угледобывающих регионов России. Условия разрабатываемых здесь бурогольных месторожде-

ний – Харанорского, Тататуровского, Уртуйского, Кутинского и Тарбагатайского – являются весьма сложными, так как они находятся в зонах крупных тектонических разломов и депрессий с высокой водообильностью водоносных горизонтов, распространением прерывистой многолетней мерзлоты и глубоким зимним промерзанием горных пород, сложными и недостаточно изученными условиями взаимосвязи водоносных горизонтов. Эффективное управление процессом открытой угледобычи в рассматриваемых условиях, уменьшения объема вскрышных работ и площадей, занятых отвалами, требует надежного геомеханического обоснования проектных и оперативно принимаемых решений на основе достоверной информации о физико-механических свойствах пород, оценки и прогноза изменения их показателей на разных этапах разработки месторождений с учетом трансформации напряженно-деформированного состояния массивов.

Увеличение приемной емкости отвалов связано с преодолением затруднений, главными из которых являются: использование расчетных методов, не позволяющих учесть измен-

чивость прочностных и деформационных свойств горных пород в зависимости от изменения физического и напряженного состояний среды; длительности действия природных факторов и их характера; схематизация свойств реальной породы параметрами выбранной расчетно-теоретической модели без учета фактических зависимостей между напряжениями и деформациями; отсутствие системы контроля и оценки свойств пород в процессе разработки месторождений.

Одной из задач повышения надежности геомеханического обеспечения процесса отвалообразования является научное обоснование применяемых методов и технических средств оценки показателей механических свойств пород в натуральных условиях. К настоящему времени не все полевые методы исследования пород разработаны в такой степени, чтобы можно было использовать без достаточного обоснования полученных с их помощью результатов. Рассмотрим в качестве примера метод среза целиков породы с применением установок, обеспечивающих одноплоскостной срез. В отличие от лабораторных приборов полевые установки снабжаются неразрезным (двойным) кольцом, а одиночным. В этой связи плоскость среза является граничной между выделенным целиком (призмой) и породным массивом.

К числу отрицательных факторов, присутствующих при сдвиге целиков горных пород в обойме, следует отнести опасность появления в определенном диапазоне вертикальной нагрузки областей глубинного сдвига и, соответственно зон разрыхления, охватывающих частично или полностью всю площадь контакта основания выделенного целика с остальным массивом горной породы. Это связано с тем, что испытания обычно проводят-

ся по схеме незаглубленного срезаемого образца породы и поэтому нормальные уплотняющие образец напряжения на площадке среза не должны превышать величины первой критической нагрузки на основание целика. Эти нагрузки, особенно для несвязных или малосвязных пород, весьма невелики, их значения могут быть меньше тех, которые возникают в натуральных условиях - под подошвой опорных элементов горнотранспортного оборудования или на площадках сдвига, принадлежащих поверхности скольжения, которая ограничивает призму обрушения в породном отвале. По этой причине напряженное состояние породы вблизи контактной плоскости полевого срезного прибора становится неадекватным реальному, формируемому в натуральных условиях, что может привести к существенному занижению показателей сопротивления породы срезу.

Особенности дифференциации вскрышных пород при формировании внутреннего отвала Уртуйского разреза потребовало получение дополнительной информации об их свойствах. Это касалось сведений о сопротивлении сдвигу разных пород по контакту и влиянии нагрузки от вышележащих слоев пород и горнотранспортного оборудования на выбор вертикальных давлений при испытании пород отвала на срез. Для решения поставленных вопросов было сконструировано, выполнено и внедрено в производство «Устройство для определения прочностных свойств пород отвалов» (патент РФ на изобретение № 2276343). Установка выполнена в виде стационарного лотка. Вертикальные нагрузки на штамп и пригрузочное кольцо прикладывались с помощью трех гидравлических домкратов. Горизонтальные сдвигающие усилия передавались на металлические обоймы с образцами по-

№ п/п пород	Пригрузка поверхности массива q, кПа	$\varphi$ , °	C, кПа	P <sub>1</sub> , кПа	S, см	E, МПа
1	0	35°	25	125	0,6	4,8
	20	36°30'	25	220	0,6	8,4
	35	37°40'	25	280	0,6	10,8
	50	38°00'	25	350	0,6	13,4
2	0	24°	50	100	0,75	3,1
	50	25°	50	250	0,8	7,2
3	0	13°30'	58	210	3,75	1,3
	50	25°	58	350	2,4	3,4
4	0	33°	50	250	2,4	2,4
	50	34°	50	500	3,0	3,1

род также с помощью гидравлического домкрата.

Сдвиговые металлические кольца – обоймы образцов – имели внутренний диаметр 0,305 м и 0,400 м, высоту – 0,150 м и 0,200 м. Пригрузочный штамп-кольцо с наружным диаметром 1,575 м выполнен из стального листа толщиной 0,02 м). Изгибная жесткость пригрузочного штампа увеличена приваркой к нему металлических ребер.

Применение предлагаемого устройства позволило:

- исключить проявление глубинного сдвига в массиве пород;

- определять прочностные свойства не только рыхлых мелкодисперсных пород, но и пород отвалов, содержащих крупнообломочный материал;

- повысить достоверность определения прочностных свойств пород отвалов за счет возможности регулирования зазора между нижней кромкой сдвигового кольца и поверхностью массива отвальных пород, а также за счет устранения возможности перекоса сдвигового кольца во время испытаний;

- расширить диапазоны прикладываемых к целику породы вертикальной и горизонтальной нагрузок, а к пригрузочному кольцу – вертикальной за счет возможности восприятия силовыми рамами устройства многотонными реактивными усилиями, что, в свою очередь, расширило функциональные возможности устройства.

Результаты проведенных опытов со вскрышными породами Уртуйского разреза позволили установить, что зависимости угла внутреннего трения  $\varphi$  и модуля деформации E исследованных пород от величины вертикальной кольцевой пригрузки массива q, наиболее адекватно описываются функциями  $\varphi = -aq^2 + bq + c$  и  $E = dq + e$ , соответственно, где a, b, c, d, e – параметры, определяемые опытным путем.

С применением упомянутого выше устройства были исследованы породы отвала «Внутренний». Было изучено 4 разновидности пород, участвующих в формировании отвала:

- песчано-гравийные породы с незначительным содержанием глинистых частиц (порода № 1);

- твердые пылевато-глинистые породы (№ 2);

- слабо-уплотненные разрушенные алевролиты (№ 3);

- контакт песчано-гравийной породы с алевролитами (№ 4).

Испытания вскрышных пород для сравнения выполнены как с применением, так и без применения кольцевой пригрузки массива вокруг призмы. Из результатов опытов следует, что эффективность применения пригрузочного кольца увеличивается с возрастанием пригрузки. Результаты определения механических свойств отвальных пород приведены в таблице.

Из таблицы следует, что при увеличении первой критической нагруз-

ки  $P_1$  наблюдается закономерное увеличение угла внутреннего трения  $\varphi$ , хотя сцепление ( $c$ ) остается практически неизменным (из-за неоднородности плотности сложения исследуемых пород нарушенной структуры эти значения несущественно варьировали). При дальнейшем увеличении  $P_1$  значения  $\varphi$ , по-видимому, будут и дальше увеличиваться.

Из таблицы видно, сколь значительно влияние интенсивности пригрузки  $q$  на величину модуля деформации  $E$  и сколь условно применение зависимости Шлейхера для установления характеристики сжимаемости породы в этом случае.

Полученные графики осадок штампов дают возможность определить вторую критическую (предельную) нагрузку  $P_2$  при различных значениях пригрузки  $q$ . Пренебрегая малым влиянием собственного веса породы (по сравнению с внешними нагрузками  $P_2$  и  $q$ ), и используя известную в теории предельного равновесия пород связь между  $P_2$  и  $q$

$$(P + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) / (q + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi) = e^{\pi \operatorname{tg} \varphi} (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi),$$

по результатам двух опытов можно вычислить оба параметра прочности –  $\varphi$  и  $c$ .

Так, при  $P_2 = 0,2$  МПа,  $q = 0$  и  $P_2 = 0,37$  МПа,  $q = 0,02$  МПа получим значения  $\varphi = 13,5^\circ$  и  $c = 0,02$  МПа. Для других условий, например, при  $P_2 = 0,45$  МПа,  $q = 0,035$  и  $P_2 = 0,52$  МПа,  $q = 0,05$  МПа получают значения  $\varphi = 17,5^\circ$  и  $c = 0,022$  МПа. Как видно, увеличение пригрузки  $q$  во втором случае, по сравнению с

первым, приводит к увеличению  $\varphi$  с  $13,5^\circ$  до  $17,5^\circ$  при почти неизменных значениях сцепления  $c = 0,02$ – $0,022$  МПа. Таким образом, влияние увеличения пригрузки  $q$  проявляется одинаково как в контактном слое «образец – основание», так и в массиве пород.

Значения  $\varphi$  и  $c$  в контактном слое и в массиве по величине явно несопоставимы: значения  $\varphi$  и  $c$ , установленные по зависимостям теории предельного состояния грунта, отражают не свойства породы, а особенности расчетной модели, использованной для приведенной выше зависимости. Применять таким способом полученные значения  $\varphi$  и  $c$  для расчета устойчивости массивов горных пород некорректно, поскольку полученные на основании упомянутой теории значения  $\varphi$  и  $c$  не согласуются с прямыми испытаниями породы на срез.

#### *Выводы:*

- применение устройств, аналогичных приведенному выше, обеспечивает получение более надежных значений прочностных характеристик пород в рассматриваемых условиях;

- увеличение вертикальных сжимающих давлений, характеризующих уровень пригрузки массива, приводит к существенному повышению значений угла внутреннего трения.

- использование зависимостей теории предельного равновесия пород для установления характеристик их прочности требует специального обоснования для случаев, аналогичных рассмотренному.

#### **Коротко об авторе**

*Бабелло В.А.* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии гидрогеологии, Читинский государственный университет, [babellovictor@mail.ru](mailto:babellovictor@mail.ru)