

УДК 658.32:622.33

**В.А. Бабелло**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ОТВАЛЬНЫХ ПОРОД  
С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО  
СОСТОЯНИЯ**

---

**П**ри исследовании взаимодействия горнотранспортного оборудования с массивами отвальных пород часто возникают трудности, обусловленные сложностью отклика породных толщ на действие нагрузок и неадекватным отражением расчетно-теоретическими моделями реальных геомеханических процессов.

Известно, что разные методы исследований деформационных свойств одних и тех же пород дают различающиеся между собой результаты. Причиной таких расхождений является то обстоятельство, что в отличие от физических свойств, модуль деформации (модуль сжимаемости) отвальных пород является реактивной характеристикой внешних на него воздействий.

При этом следует отметить, что значения этой характеристики будут находиться в прямой зависимости от метода воздействия на породу.

Например, значения модуля деформации породы, полученные в условиях компрессионного сжатия может существенно отличаться от результатов штамповых испытаний.

Очевидно, что достоверность результатов испытаний пород зависит от степени учета методикой опробования пород реального их поведения в массивах под нагрузкой. В конечном итоге важно соответствие напряжен-

но-деформированного состояния испытуемых образцов пород таковому в горнотехнических сооружениях. Следует констатировать, что соблюдение этого требования представляет основную трудность, а невыполнение его приводит к получению недостоверных значений механических характеристик пород. Особенно значительны расхождения между прогнозируемыми и фактическими осадками горнотранспортного оборудования при его работе на отвалах, отличающимися неоднородностью состава отвальных пород в плане и по глубине, плотностью сложения, влажностью, деформационной, прочностной и фильтрационной анизотропией и пр.

Существенную неопределенность в оценке свойств пород вносит практика выбора их расчетных значений на стадии проектирования отвала. Как правило, эта задача решается путем проведения лабораторных испытаний смесей пород, подобранных по результатам инженерно-геологических изысканий. В этом случае не учитывается фактический литологический состав грузопотоков вскрышных пород при обработке месторождения [1].

Резюмируя вышеизложенное можно сделать вывод, что в сложившихся условиях становится проблематичным получение оптимальных пара-

метров отвала, а следовательно и экономических показателей проекта. Решением рассматриваемой проблемы может быть введение в горное производство системы оперативного контроля и оценки механических свойств пород отвалов [2].

Для её реализации необходимы методы испытаний отвальных пород, адекватно отражающих механизм деформирования отвала при техногенных на него воздействиях. Существующие методики [3] рекомендуют использовать значения характеристик сжимаемости пород, установленные как натурными, так и лабораторными методами. В первом случае предполагается использование штампов, а во втором – компрессионных приборов с увеличенным (более 0,20 м) диаметром кольца. Не вдаваясь в анализ достоинств и недостатков такого подхода (они достаточно известны) отметим, что к рассмотрению предлагаются две методики определения деформационных свойств отвальных пород в зависимости от переменного напряженного состояния отвалов.

Первая методика заключается в определении параметров зависимости:

$E = E_k (\alpha_n - \alpha) / (\alpha_n - \alpha_k)$ , описание которой приведено в [4].

Вторая методика исследований механических свойств песчано-глинистых отвальных пород основана на прямом учете функциональной зависимости их деформационных характеристик от уровня действующих в отвале напряжений и их соотношений. Реализация такой методики возможна в условиях стабилометрических испытаний пород. Опыт использования стабилометров при оценке деформируемости крупнообломочных грунтов приведен в работе [5]. Особенности второй методики определе-

ния деформационных свойств отвальных пород свойств заключаются в следующем:

- применение в опытах бака-стабилометра с размерами рабочей камеры, допускающими испытания упомянутых отвальных пород. Такой бак-стабилометр с диаметром рабочей камеры 0,50 м. нами использовался в опытах с песчаными породами. Его конструктивная схема основана на так называемом «пассивном» принципе задания боковых давлений. Реализация этого принципа осуществляется путем их «сброса» при приложении вертикальных давлений на верхний торец испытываемой пробы отвальных пород. Таким образом, становится возможным получение зависимостей деформационных свойств отвальных пород от напряженного состояния. Задание величины вертикальных и горизонтальных напряжений может быть осуществлено на основе оценки уровня нагрузки от горнотранспортного оборудования в соответствии с существующими методиками прогноза напряженного состояния отвала;

- реализация в условиях бака-стабилометра отношения вертикальных и горизонтальных нормальных напряжений, соответствующих предельному состоянию породы. В этом случае используя известные зависимости Кулона-Мора становится возможным определение прочностных свойств испытываемых пород –  $\varphi$  и  $c$ . Основным результатом исследований является получение экспериментальных зависимостей вида  $E = f(\sigma_1; \dot{\alpha} = \sigma_1 / \sigma_2; \sigma_2 = \sigma_3)$  для каждого вида отвальных пород и их смесей с последующей аппроксимацией. Был принят единый подход, заключающийся в использовании характеристики деформируемости пород  $E$ , как отношения  $\Delta \sigma_1 / \Delta \varepsilon_1$ , где  $\Delta \varepsilon_1$  – приращение отно-

сительных деформаций породного образца при изменении вертикальных напряжений  $\sigma_1$  на величину  $\Delta \sigma_1$ .

Следует отметить, что в первой методике предложено процесс деформирования (изменение модуля деформации) исследованных пород в условиях переменного напряженного состояния описать единой зависимостью. По сути речь идет о линеаризации графика зависимости модуля деформации от отношений главных напряжений, соответствующим таковым в реальных условиях отвала ( $\dot{\alpha}$ ), условиях компрессии ( $\alpha_k$ ) и условиях предельного состояния породы  $\alpha_n$  [4].

Предлагаемая во второй методике схема определения деформационных свойств отвальных пород в условиях их ограниченного бокового расширения, более точно учитывает особенности их изменения в зависимости от трансформации Н.Д.С. отвалов. В результате экспериментальных исследований были получены зависимости  $E = f(\sigma_1; \dot{\alpha})$  для трех видов горных пород. Если для глинистых пород рассматриваемые зависимости качественно одинаковые, то для песчаных пород они имеют отличие. В количественном отношении зависимости для глинистых пород также отличаются. Так, для суглинка тугопластичного со степенью влажности  $G = 0,74$  зависимость  $E = f(\sigma_1; \dot{\alpha})$  имеет вид

$$E = 1,17277 + (1,290089/\sigma_1) - (0,13539 + (0,54389/\sigma_1)) \ln(\dot{\alpha}). \quad (1)$$

Для супеси со степенью влажности  $G = 0,52$  аппроксимация результатов эксперимента позволила получить следующую зависимость:

$$E = 25,37 + 83,13 \sigma_1 - (1 / (0,0659 - 0,092 \sigma_1)) \ln(\dot{\alpha}). \quad (2)$$

Для песчаных пород были получены графические зависимости  $E = f(\sigma_1; \dot{\alpha})$ ,

свидетельствующие о закономерном уменьшении  $E$  с ростом  $\dot{\alpha}$ . Не вызывает сомнения тот факт, что для других литологических разностей отвальных пород и их смесей параметры и вид аппроксимирующих функций должны быть иными. В этой связи, особенно в условиях неупорядочной отсыпки пород, требуется проведение опытно-промышленных экспериментов как с чистыми разностями пород, так и их смесями, участвующими в формировании отвала. Бак-стабилометр с насосной станцией, установленный например, на волокуше, может быть доставлен на любой из ярусов отвала для оперативной оценки деформационных и прочностных свойств отвальных пород. В этом случае можно говорить о натуральных испытаниях отвальных пород в стендовых условиях.

Преимущества предлагаемой второй методики заключается в следующем:

- возможность учета влияния переменного напряженного состояния нагруженного массива отвальных пород на их деформационные свойства в условиях опытно-промышленных экспериментов;

- возможность испытания нескальных пород непосредственно на отвалах; тем самым исключается необходимость искусственного составления смесей пород в лабораторных условиях и моделирования их физического состояния;

- возможность прямого использования полученных результатов в расчетах осадок горнотранспортного оборудования;

- возможность получения параметров второй группы механических свойств – прочностных в условиях изменяемого напряженного состояния.

В заключение отметим, что в результате проведенных экспериментальных исследований деформаций массивов песчано-глинистых пород, сформированных в стендовых условиях, установлено, что расчетные значения осадок опорных элементов

горнотранспортного оборудования оказываются сопоставимыми с наблюдаемыми (разница до 10%), если учтена переменность деформационных характеристик породы в зависимости от текущего напряженного состояния отвала.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабелло В.А.* Оценка влияния неупряжденной отсыпки отвальных пород на устойчивость отвала «Восточный» угольного разреза» Уртуйский» / В.А. Бабелло, Ю.А. Овешников, М.Р. Гильфанов, В.Ю. Галинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2003. – № 9. – С. 198-200.

2.. *Бабелло В.А.* К вопросу о системе оперативного контроля за механическими свойствами горных пород.//Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2004. – №9.- С. 343-344.

3. *Методические указания* по расчету устойчивости и несущей способности отвалов/

Министерство угольной промышленности СССР. - Л.: ВНИМИ, 1987-126 с.

4. *Бабелло В.А.* О совершенствовании метода расчета осадок горнотранспортного оборудования при его работе на отвалах / В.А. Бабелло, А.П.Криворотов // Горный информационно-аналитический бюллетень.- Москва, Издательство московского государственного горного университета, 2006. - №2. - С. 32-36.

5. *Зиангиров Р.С.* Оценка деформируемости крупнообломочных грунтов / Р.С. Зиангиров, Р.Г. Кальбергенов // Инженерная геология. - 1987. - №3. - С. 107-118.

ГИАБ

---

#### Коротко об авторе

*Бабелло В.А.* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии гидрогеологии, Читинский государственный университет.

Статья рекомендована к опубликованию Читинским государственным университетом.

