Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова
т. LXXXIII, 1981 г.

УДК 622.271.46:622.271.6:622.882

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИДРООТВАЛОВ КУЗБАССА

Ю.И.КУТЕПОВ

Развитие угледобычи открытым способом в Кузбассе, где уже действуют 17 угольных разрезов, сопровождается перемещением в отвалы больших объемов горных пород (до 600 млн.м$^3$), что потребует изъятия из сферы сельского хозяйства значительных площадей ценных земельных угодий. Для размещения во внешние отвалы, например, 1 млн.м$^3$ вскрыши необходимо более 0,7 км$^2$ земли, а при гидроотвалообразовании в 3-5 раз больше. Уменьшение площадей земли, занимаемых под отвалы, может быть осуществлено за счет увеличения емкости существующих отвалов, использования территорий, непригодных для нужд сельского хозяйства - оврагов, старых выработок, пойм рек и ручьев, болот и, наконец, размещения пород вскрыши на гидроотвалах, площадь которых в Кузбассе составляет 35 км$^2$.

Однако отвалообразование на слабом основании (намывные и болотные отложения) сопровождается, как правило, оползневыми деформациями откосов, что существенно осложняет технологический процесс и требует специальных мероприятий, обеспечивающих безопасность и технико-экономическую эффективность горных работ. Эти мероприятия должны основываться на результатах комплексных исследований состава и свойств техногенных образований отвалов, гидроотвалов и их естественных оснований, а также технологии отвалообразования [1].

Решающая роль здесь принадлежит количественной оценке физико-механических свойств новых техногенных образований, полученной на основании целенаправленного сочетания полевых и лабораторных исследований, выявленных корреляционных связей между показателями и установленных в процессе исследований закономерностей. При этом в инженерно-геологических изысканиях растет значение полевых опытов, которые позволяют быстро, просто и с большой достоверностью определять основные физико-механические свойства пород. В ряде случаев они являются единственно возможными, так как отбор образцов ненарушенного сложения из скважин в некоторых частях гидроотвалов затруднен либо практически неосуществим. В зоне пруда-отстойника гидроотвала „Акташский", например, отложения до глубины 20-25 м находятся в текучем состоянии.

Таблица 1

Физико-механические свойства четвертичных пород Кузбасса

| Глубина залегания, м | Влажность, % | Плотность, г/см³ | Плотность скелета, г/см³ | Плотность минеральной части, г/см³ | Пористость, % | Сцепление, МПа | Угол внутреннего трения | Гранулометрический состав, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Песок | Пыль | Глина |
| До 12 | 24,8–25,6 | 1,43–1,77 | 1,15–1,41 | 2,69 | 47,6–57,3 | 0,019–0,053 | 24–26° | 11,3 | 80,0 | 8,7 |
| От 12,0 до 63,0 | 22,6 | 1,91 | 1,56 | 2,69 | 42,1 | 0,050 | 23 | 20,7 | 66,2 | 13,1 |

Таблица 2

Изменение физико-механических свойств пород гидроотвала „Киселевский" при удалении от фронта намыва

| Номер пробы | Расстояние от фронта намыва, м | Плотность, г/см³ | Плотность минеральной части, г/см³ | Влажность, % | Пористость, % | Коэффициент сжимаемости при $\sigma$ = = 0,1÷0,8 МПа, МПа$^{-1}$ | Гранулометрический состав, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Песок | Пыль | Глина |
| 1 | 50 | 1,9 | 2,68 | 23,6 | 42,8 | 0,92–0,1 | 53 | 40,7 | 6,3 |
| 2 | 100 | 1,85 | 2,69 | 33,3 | 46,3 | 0,56–0,16 | 22,5 | 68,05 | 9,45 |
| 3 | 150 | 1,81 | 2,68 | 29,35 | 43,7 | 0,63–0,12 | 7,0 | 80,8 | 12,2 |
| 4 | 250 | 1,9 | 2,71 | 35,9 | 48,3 | 0,2–0,26 | 11,9 | 66,7 | 21,4 |
| 5 | 300 | 1,79 | 2,68 | 39,5 | 52,3 | 1,32–0,18 | 7,4 | 71,6 | 21,0 |
| 6 | 350 | 1,74 | 2,67 | 43,6 | 55,0 | 2,48–0,18 | 8,4 | 67,3 | 24,3 |
| 7 | 400 | 1,76 | 2,68 | 49,1 | 55,9 | 5,84–0,18 | 1,5 | 65 | 33,5 |
| 8 | 450 | 1,71 | 2,70 | 46,0 | 56,7 | 2,74–0,23 | 2,0 | 64,6 | 33,4 |

Гидроотвалы Кузбасса размещены преимущественно в овражно-балочных сооружениях с односторонним обвалованием. Высота их меняется в широких пределах: от 5-6 до 60 м. Намыв, как правило, ведется из торцов пульповодов. Размываемые породы представлены преимущественно делювиальными лессовидными супесями и суглинками (табл.I).

Вскрышной материал поступает в гидроотвалы в виде пульпы, причем по мере ее растекания по пляжу намыва происходит дифференциация частиц (наиболее крупные откладываются у выпусков, мелкие - в пруде-отстойнике), обуславливающая изменение физико-механических свойств. Характерная раскладка частиц намывных отложений гидроотвала „Киселевский", которая вызвала изменение прочностных показателей (угол внутреннего трения изменяется в пределах от 30-34° у выпусков до 12° в пруде-отстойнике) приведена в табл.2.

Для исследований физико-механических свойств отложений гидроотвалов производственного объединения „Кемеровоуголь" использовались вращательный срез, прессиометрия, статическое зондирование, измерение in situ влажности с помощью радиоизотопов и величины порового давления струнными пьезодинамометрами конструкции ВНИМИ и Гидропроекта.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

I. Для количественной оценки прочности осадков гидроотвалов возможно применение вращательного среза несмотря на то, что он дает несколько завышенные (в I,I-I,4 раза) величины сопротивления сдвигу по сравнению с результатами, полученными в одноплоскостных срезных приборах по схеме неконсолидированно-недренированного сдвига. При количественной оценке отложений текучей консистенции вращательный срез является единственным надежным методом. При анализе результатов сопротивления вращательному срезу намывных осадков гидроотвала „Сагарлыкский" и влажности получена зависимость

$$\tau = 1{,}92 \exp\eta\, 0{,}5W^2 - 13{,}58W,$$

где $\tau$ - сопротивление вращательному срезу, МПа; $W$ - естественная влажность в долях единицы.

2. Результаты прессиометрических испытаний хорошо согласуются с данными неконсолидированно-недренированного сдвига в условиях трехосного сжатия. Так, для отложений гидроотвала „Бековский" различие в величинах углов внутреннего трения составляет $\pm$I-2°, сцепления - $\pm$0,004 МПа (интерпретация дилатометрических наблюдений проведена по методике [2, 3].

Согласованность в результатах объясняется близостью условий проведения опытов в стабилометре и при прессиометрии. Использование прессиометра для исследований прочности осадков текучей консистенции практически невозможно, так как давление, вызывающее растяжение резиновой оболочки прессиометра, близко по своему значению напряжениям, вызывающим деформации среды.

3. Результаты статического зондирования могут быть использованы лишь как приближенные, сравнительные данные о прочности намывных отложений. Например, установленная корреляционная связь между показателями сопротив-

ления вращательному срезу и удельным сопротивлением пенетрации для приотк осной зоны гидроотвала „Сагарлыкский" выражается зависимостью $\tau = 0{,}03\,q$ МПа (пределы изменения $\tau$ от 0,0I25 до 0,05 МПа, $q$ от 0,4I до I,6 МПа).

4. Изучение влажности глинистых пород in situ с помощью радиоизотопного метода (НИГ Iм[X]) имеет ограниченное применение из-за высокой влажности ( $W_{об} = 40$ %). Там, где она ниже этого предела, метод дает хорошие результаты. В приотк осной зоне гидроотвала „Бековский" получена сходимость 2-3 % с результатами, определенными весовым способом.

5. Определения порового давления в теле гидроотвала проводилось с помощью специальных датчиков струнного типа конструкции ВНИМИ и Гидропроекта. Использовались две схемы определения порового давления: I) стационарные измерения датчиками, поставленными в специально пробуренные скважины; 2) периодические измерения (задавливание штанговых датчиков на заданную глубину).

Первую схему необходимо применять при длительном контроле за ходом уплотнения, так как при этом применяются наиболее чувствительные датчики с точностью 0,0005-0,002 МПа (штанговый датчик конструкции Гидропроекта имеет точность измерения 0,006 МПа). Вторую схему, позволяющую более оперативно производить оценку порового давления в намытом массиве, применяют для ориентировочных измерений.

Наблюдениями на гидроотвалах „Свободный" и „Акташский" установлено, что в теле гидроотвала „Свободный" в настоящий момент отсутствует избыточное (по сравнению с гидростатическим) поровое давление, что подтверждается также расчетами консолидации по компрессионно-фильтрационным показателям, полученным в лаборатории. Замеры порового давления в массиве гидроотвала „Акташский" показали, что в зоне пруда-отстойника величины избыточного порового давления составляют 0,I-0,I5 МПа (60-80 % от веса пород с учетом гидростатического взвешивания).

На основании выполненных инженерно-геологических исследований в полевых и лабораторных условиях проведены расчеты устойчивости гидроотвалов и новых техногенных массивов (гидроотвал + отвал) на различные этапы строительства и эксплуатации.

Использование территорий гидроотвалов в качестве основания для размещения пород „сухой" вскрыши позволит получить значительную экономическую выгоду не только за счет сокращения полезных площадей, но и из-за создания возможности их скорейшей рекультивации и ввода в сферу сельского и лесного хозяйства. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов научных исследований на гидроотвалах Кузбасса составит 35 млн.руб.

---

[X] Усовершенствованный во ВНИМИ прибор НИВ-1 позволяет производить контроль за влажностью до глубины 100 м.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крячко С.Ю., Кутепов Ю.И., Норватов Ю.А. Исследование условий консолидации песчано-глинистых пород гидроотвалов. – Труды координ. совещ. по гидротехнике, вып. 113. М., Энергия, 1977.

2. Корчагин Г.П., Коренева С.П. Прессиометрия и вращательный срез в инженерной геологии. М., Недра, 1976.

3. Руппенейт К.В., Бронштейн М.И. Определение деформативных и прочностных характеристик из дилатометрических испытаний. – Основания, фундаменты и механика грунтов, 1971, № 5.