

## ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД НА АБАНСКОМ БУРОУГОЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В. Н. ПУЛЯЕВ, Н. С. РОГОВА

(Представлена научным семинаром кафедры гидрогеологии)

В 1969-71 гг. на Абанском буроугольном месторождении проведены исследования, целью которых явилось выяснение инженерно-геологических условий освоения месторождения и прогноз устойчивости пород на участках заложения первых карьеров.

Исследования включали комплексную инженерно-геологическую съемку, инженерно-геологическое опробование пород и водоносных горизонтов, лабораторные работы, стационарные наблюдения за режимом водоносных горизонтов и развитием современных физико-геологических явлений по склонам логов, в долинах рек и бортах действующих карьеров (Назаровском и Ирша-Бородинском).

Инженерно-геологическая съемка проводилась с целью изучения внешних условий размещения и строительства карьеров, вспомогательных промышленных и гражданских сооружений. Особое внимание уделялось изучению геологического строения, водоносности пород, форм рельефа и физико-геологических явлений. Детально обследованы действующие карьеры, работающие в аналогичных условиях, как Ирша-Бородинский и Назаровский, где выяснены способ разработки, поведение пород в рабочих и нерабочих бортах, влияние воды на устойчивость пород и т. д.

Прочность пород в процессе съемки оценивалась, главным образом, микропенетрацией. На участках наиболее неустойчивых пород и в бортах карьеров проведены натурные испытания по исследованию сопротивления пород сдвигу.

В процессе исследований использованы также данные радиоактивного и электрического каротажа. Данные пенетрации и геофизических наблюдений сопоставлены с результатами исследований свойств пород в полевой и стационарной инженерно-геологических лабораториях. В полевой инженерно-геологической лаборатории выполнялись определения объемного веса, влажности, пластичности для глинистых пород, размокания, микропенетрации и в небольших объемах (в основном для слабых разновидностей) сопротивления пород сдвигу.

В стационарной лаборатории наряду с перечисленными характеристиками исследовали гранулометрический состав, удельный вес, временное сопротивление раздавливанию и разрыву, химический и минералогический состав с применением электронного микроскопа, термического и рентгеноструктурного анализов. Большое внимание уделялось исследованию сопротивления пород сдвигу. Учитывая условия, в кото-

рых окажутся породы в бортах намечаемых карьеров, испытания на сдвиг выполнялись под нагрузками менее бытовых в условиях полного насыщения водой. Сдвиги в основном направлялись по плоскостям на-слоения, нормально к наслоению и по ослабленным микрizonaм. Вре-менное сопротивление раздавливанию определялось с применением ме-тодики, разработанной в институте горного дела им. А. А. Скочин-ского.

Большое внимание уделяли изучению физико-механических свойств пород, результаты которого нашли свое отражение в инженерно-геологи-ческой классификации. В классификацию вошли слабые четвертичные и среднемезозойские полускальные породы и бурые угли, местами глубо-ко измененные в процессе гипергенеза, особенно в зонах выветривания и выгорания.

Каждый литологический тип по прочности разделен на виды: очень слабые (илы), слабые, среднепрочные, прочные и очень прочные породы.

К слабым отнесены породы разупрочненные и деградированные в процессе выветривания и других факторов, имеющие высокую порис-тость и влажность, низкую плотность и прочность. Удельное сопротив-ление пород микропенетрации до  $70 \text{ т/м}^2$ , сцепление по наслоению до  $5 \text{ т/м}^2$ . Глинистые породы пластичны.

Среднепрочные включают большинство пород, частично из-мененных в процессе выветривания. Их прочностные свойства выше, удель-ное сопротивление микропенетрации до  $250 \text{ т/м}^2$ , сцепление по слоисто-сти  $5—11 \text{ т/м}^2$ . В естественном состоянии, как правило, не размокают, подсушенные распадаются на отдельные агрегаты.

Прочными являются довольно плотные и прочные разновидно-сти пород на глинисто-карбонатном и карбонатном цементе с низкими значениями пористости и влажности. Породы практически не набухают, не размокают в воде. Сцепление по слоистости превышает  $11 \text{ т/м}^2$ , удель-ное сопротивление микропенетрации более  $250 \text{ т/м}^2$ .

Очень прочные породы составляют не более 0,5% от объема пород вскрыши и характеризуются очень низкой влажностью (0,44—1,64%) и пористостью (6,55—10,37%). Развиты они в виде разобщен-ных, выклинивающихся линз мощностью 0,1—0,6, редко 1,0 м. Как пра-вило, это мелкозернистые песчаники с сидеритовым или кремнистым цементом.

Изучение физико-механических свойств в конечном итоге сводилось к оценке прочности пород и их устойчивости в бортах карьеров.

Инженерно-геологическая оценка устойчивости пород является до-вольно сложной задачей и включает выбор расчетных показателей по-род, выбор методов и непосредственное выполнение расчетов по приня-тым расчетным схемам.

Правильный выбор расчетных показателей создает предпосылку для наиболее объективного расчета устойчивости бортов намечаемых карьеров. Разрушение откосов, бортов карьеров чаще всего происходит по поверхностям или зонам ослабления, обусловленным местами кон-центрации напряжений, наиболее слабыми породами, трещиноватостью, выходами подземных вод, степенью выветривания горных пород и дру-гими причинами.

В этом случае применение среднеарифметических значений по-казателей свойств каждого слоя породы не отвечает реальным инженерно-геологическим условиям, необходимо учитывать их изменчи-вость. Поэтому в последнее время за расчетное значение принимают математическое ожидание, в которое вводят поправки, учитывающие ошибки при полевых и лабораторных исследованиях, поправки на не-

достаточную надежность обобщенных показателей, на возможные изменения свойств той или иной породы в пространстве и т. п.

$$X_p = \frac{M_x}{K_\phi}, \quad (1)$$

где  $M_x$  — математическое ожидание. В нашем случае за математическое ожидание принимается обобщенное значение показателя;

$K_\phi = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3$  — факториальный коэффициент, отражающий все неблагоприятные условия работы пород в бортах карьера;

$\kappa_1$  — поправка, учитывающая изменчивость частных показателей;

$\kappa_2$  — поправка, учитывающая снижение прочности пород в бортах и уступах карьера, по рекомендации ВНИМИ составляет 1,1 для слабых пород;

$\kappa_3$  — поправка, учитывающая несовершенство расчетной схемы, принимается равной 1,1;

$\kappa_4$  — поправка, учитывающая влияние гидростатических и гидродинамических сил.

Учитывая изменчивость свойств пород в качестве расчетных значений угла внутреннего трения и сцепления, принимаются их нижние доверительные пределы. За расчетное значение объемного веса берется его среднеарифметическое значение.

В тех случаях, когда линия скольжения предопределяется инженерно-геологическими условиями (слоистость, наличие прослоев слабых пород и пр.), в качестве расчетных значений показателей сопротивления сдвигу по ослабленной поверхности принимаются их нижние толерантные пределы, определяемые по формуле

$$X_0 = Mx - ta \cdot \sigma, \quad (2)$$

где  $ta$  — нормированное уклонение, отвечающее при нормальном законе выбранному уровню значимости;

$\sigma$  — стандарт.

Исходя из вышеприведенной формулы, расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения по ослабленной поверхности определяются как:

$$C'_p = \frac{1}{\kappa_2} (c - ta \cdot \sigma_c); \quad (3)$$

$$\psi'_p = \frac{1}{\kappa_2} (\bar{\phi} - ta \cdot \sigma_\phi), \quad (4)$$

где  $c$ ,  $\bar{\phi}$  — средние значения сцепления и угла внутреннего трения,  $\sigma_c$ ,  $\sigma_\phi$  — стандарты.

Результаты определения расчетных показателей для всех инженерно-геологических видов пород и угля положены в основу расчетов устойчивости откосов бортов будущих карьеров в зависимости от принятых методов расчетов.

В настоящее время существует несколько десятков расчетных схем, применяемых для определения крутизны склонов и откосов. Для условий Абанского месторождения наибольший интерес представляют метод многослойного откоса (метод В. В. Соколовского) и IX схема ВНИМИ.

В основу расчета по методу В. В. Соколовского положено построение контура откоса путем численного интегрирования дифференциальных уравнений предельного равновесия, решение которых ускорено применением электронно-вычислительной машины и представлено в виде графика, построенного И. С. Мухиным и А. И. Срагович для условной породы. Результаты расчетов углов наклона бортов проектируемых

## Результаты расчетов углов откоса

№ п. п.	№ скв.	Глубина, м	По методу В. В. Соколовского		По методу ВНИМИ		Рекоменду- емые углы при $K_3=1,1$
			при $K_3=1$	при $K_3=1,1$	при $K_3=1$	при $K=1,1$	
1	2227	76,0	41	37	37	33	33
2	409	70,0	42	38	39	35	35
3	1676	44,0	48	44	46	42	42
4	2228	111,0	36	33	35	32	32
5	1087	57,5	44	40	44	40	40
6	94	35,9	53	48	50	45	45
7	3081	51,0	41	37	37	33	33
8	1505	78,0	43	39	43	39	39
9	2225	111,0	35	32	32	29	29
10	1697	76,0	36	33	36	33	33
11	2229	119,0	34	31	33	30	30
12	1680	81,5	36	33	33	30	30
13	1551	111,0	35	32	34	31	31

карьером с введением поправочного коэффициента 1,1 приведены в табл. 1. В отдельных литологических типах и инженерно-геологических видах при условии предварительного осушения они составили: для суглинков 24—82°, слабых песчаников 28—59°, среднепрочных песчаников 30—44°, слабых алевролитов 24—52°, среднепрочных алевролитов 33—70°, слабых аргиллитов 19—26° и бурого угля 32—57°. Значительные углы наклона в слабых породах оказались в верхних частях разреза, что не противоречит теории распределения напряжений в откосах.

При расчете по IX схеме ВНИМИ, учитывающей присутствие в разрезе ослабленных зон, получены общие углы наклона бортов карьеров. Они приведены в табл. 1.

Эти углы могут значительно уменьшаться под действием подземных вод в фильтрующих откосах. При прогнозе общей устойчивости откосов следует учитывать гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление, отрицательно влияющих на устойчивость пород. Для условий Абанского месторождения в этом отношении наибольшую опасность представляют слабо связанные породы выше пласта Мощного, особенно в зоне выветривания, до глубины 40—50 м. В них, в условиях гидростатического взвешивания значительно уменьшаются углы внутреннего трения: в супесях с 26 до 14,5°, в песках с 32 до 20°, в слабых песчаниках с 30 до 16°. Коэффициенты устойчивости при возможном действии фильтрационных сил составили при расчетах 0,42—0,61.

Таким образом, расчеты показали, что углы фильтрующих откосов уменьшаются почти в два раза по сравнению с осушенными породами, что еще раз подчеркивает необходимость предварительного осушения участков месторождения до вскрытия пластов угля.

Одновременно с инженерно-геологическими исследованиями на Абанском месторождении изучалась устойчивость пород в бортах действующих углеразрезов Канско-Ачинского бассейна и ряде крупных обнажений. К ним, прежде всего, относятся Назаровский, Ирша-Бородин-

ский и Большесырский карьеры. Наиболее полно с 1966 г. эти исследования были поставлены на углеразрезе № 2 Назаровского месторождения, инженерно-геологические условия которого во многом аналогичны Абанскому месторождению.

Назаровский углеразрез был заложен в конце 40-х годов в краевой части одноименной мульды, выполненной юрскими полускальными породами и углями, перекрытыми четвертичными аллювиальными отложениями. Система разработки комбинированная: транспортная на нижних вскрышных уступах и гидромеханизованная на верхнем уступе в юго-восточной части разреза. Высота уступов колеблется от 5,7 до 12,6 м. Всего на карьере 4 породных (35,5 м) и 3 угольных уступа.

Годовое продвижение вскрышных уступов колеблется от 94 до 100 м. Породы отличаются различной устойчивостью. Наиболее устойчивы в рабочих предварительно осушенных бортах песчаники, которые выдерживают углы наклона 50—70° в уступах высотой до 10—12 м. В глинистых разновидностях они снижаются до 45—50°. Общий же угол наклона рабочего борта из-за широких берм 12—14°.

Под действием процессов выветривания породы теряют свою прочность и устойчивость. По результатам исследований обобщенный коэффициент стойкости по П. Н. Панюкову оказался для песчаников 0,63, алевролитов 0,78, аргиллитов 0,87, т. е. более неустойчивы аргиллиты. Наиболее неустойчивы в бортах карьера суглинки и илы, которые в 1968 г. начали сползать в юго-восточном углу карьера. Образовавшийся оползень-поток затормозил продвижение горных работ на 1,5 месяца. На внешних и внутренних отвалах часто происходили просадки и оползни. Эти явления нередко связаны с недостаточной прочностью и обводнением пород в основании, отсыпкой в отвалы талых пород на мерзлую корку, завышением углов, высоты откоса и другими причинами.

Бородинский карьер находится южнее Абанского месторождения. Глубина карьера 83 м. Разработка угля ведется 10 уступами с широкими 20—40 м бермами. Несмотря на то, что углы и породы в осушенных уступах имеют преимущественно углы 60—75°, общий угол рабочего борта карьера не более 15—18°. Углы наклона нерабочих бортов 33—35°. На них видны следы оползней, особенно на втором нерабочем уступе.

Большесырский карьер расположен в Балахтинском районе и отрабатывает уголь для местных нужд. Глубина карьера 15—17 м. Производительность до 500 тыс. т в год. Имеется 2 уступа. Разработка ведется без предварительного осушения, поэтому четвертичные отложения часто сползают.

По берегам рек Чулыма и Урюпа имеется целый ряд крупных обнажений высотой 35—42 м. Углы осушенных откосов 45—50°, снижаясь до 27—30° в мокром состоянии.

Таким образом, большинство действующих карьеров на площади Канско-Ачинского бассейна работают в условиях предварительного осушения. Рассчитанные углы отдельных невысоких откосов (до 10—12 м) в условиях предварительного осушения будущих Абанских карьеров приблизительно совпадают с углами уступов действующих карьеров.

Материалы исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. В процессе вскрытия пласта Мощного будут встречены различные по составу и прочности породы — от слабых до очень прочных. Наибольшим распространением во вскрышной толще пользуются слабые породы, местами интенсивно выветрелые. Очень прочные разновидности пород встречаются редко. Учитывая характер их распространения,

они не окажут существенного влияния на устойчивость пород в бортах карьеров.

2. Принимая во внимание достаточно высокую водообильность отдельных водоносных горизонтов, а также невысокую прочность и устойчивость пород, разработку угля следует вести с предварительным осушением.

3. При условии предварительного осушения общий угол наклона борта карьера при глубинах 50—70 м можно принять до  $35^\circ$ , при больших глубинах (до 100—120 м) — не более  $29\text{—}32^\circ$ .

---