Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXX, вып. 2, 1976 г.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОКРАЩЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ КАРЬЕРОВ И ОТВАЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА И КУЗБАССА

А.М.Гальперин

Развитие открытых разработок влечет за собой значительные изменения природно-геологической обстановки: ландшафта, геологического строения, гидрогеологических условий и геодинамического состояния территорий. Исключение из сферы сельскохозяйственного использования занятых под горные отводы ценных земельных угодий, истощение источников водоснабжения, активизация ветровой эрозии и захоронение почвенно-растительного покрова продуктами дефляции отвальных масс наносят существенный ущерб народному хозяйству и ухудшают санитарно-гигиенические условия обширных районов. Предвидение масштаба этих изменений и их последствий необходимо для обоснованного определения объемов работ по сохранению водно-земельных ресурсов, рекультивации площадей карьеров и отвалов, а также для решения конкретных горно-технологических задач при проектировании и эксплуатации карьеров.

Таким образом, возникают качественно новые задачи, связанные с инженерно-геологическими аспектами прогнозирования изменений природно-геологических условий районов открытых разработок.

Важным элементом инженерно-геологических прогнозов является учет фактора времени при оценке состояния бортовых и отвальных массивов на различных этапах разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом. Установление характера развития механических процессов, протекающих в массивах пород, обеспечивает в конечном счете достижение максимальной эффективности горных работ. Учет нестационарности этих процессов позволяет объективно оценить возможности сокращения площадей горных отводов за счет увеличения крутизны бортов карьеров, высоты и емкости отвалов.

При открытых разработках в качестве объектов инженерной деятельности рассматриваются выемки (карьеры) и отвалы (насыпные и гидравлические) в совокупности с массивами пород, являющимися конструкционными элементами

этих инженерных сооружений и сроков производства работ. Если использовать понятие об уровнях объектов и моделей, то к моделям можно отнести проект карьера (включающий отвальное хозяйство) и совокупность сведений о природно-геологических условиях района работ. Между объектами и моделями должны существовать как прямые, так и обратные информационные связи, наличие которых обусловливает возможность «непрерывного" проектирования карьеров и отвалов (корректировки проектных решений). Для уточнения данных о состоянии массивов пород, характере и масштабе геомеханических процессов при эксплуатации месторождений целесообразно выполнять преимущественно натурные исследования, которые, несмотря на сложность организации и весьма высокие затраты, обеспечивают достижение экономического эффекта за счет снижения коэффициента запаса устойчивости откосов.

Эти общие положения проиллюстрируем конкретными примерами, отражающими возможности практического использования прогнозов нестационарных геомеханических процессов в толщах пород бортов и отвалов карьеров Курской магнитной аномалии (КМА), а также гидроотвалов карьеров Кузбасса.

Месторождения КМА отличаются значительной мощностью надрудных осадочных отложений, сложным инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. К настоящему времени начата разработка железистых кварцитов на Михайловском, Лебединском и Стойленском месторождениях, где борта карьеров горно-обогатительных комбинатов приближаются к предельным контурам. Срок службы сформировавшихся в толщах песчано-глинистых и меловых пород нерабочих бортов составляет свыше пятидесяти лет. Для открытой разработки перспективны Чернянское, Погроменское, Гостищевское месторождения с глубиной залегания руд от 200 до 400 м и более.

Для получения объективных данных о характере снижения во времени прочности глинистых пород в уступах бортов карьера Михайловского ГОК проведены обратные расчеты оползней откосов со сроками службы от 1 месяца до 10 лет. В качестве исходных материалов использованы результаты съемки оползней и устойчивых откосов, проводившейся маркшейдерской службой карьера. Параметры сопротивления глинистых пород сдвигу определены на основании данных испытаний в стабилометрах ВИОГЕМ типа УСВ-2.

Наиболее представительные результаты получены для апт-неокомских глин. Сопротивление сдвигу $\tau(t)$ глинистых пород в откосах со сроками службы, превышающими продолжительность периодов набухания, определено по линейной зависимости

$$\tau(t) = C(t) + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_\infty ,$$

где $C(t)$ – сцепление породы для различных моментов времени t (определено из обратных оползневых расчетов); σ_n – нормальное напряжение; φ_∞ – угол внутреннего трения (предельно-длительное значение получено при лабораторных испытаниях).

Обратные расчеты оползней с ограниченной протяженностью по фронту уступов усовершенствованы с использованием модификации предложенного П.Н.Панюковым пространственно-геометрического метода, позволяющего упро-

менно решать объемные задачи об устойчивости откосов[x].

Для анализа результатов обратных расчетов использованы соотношения, полученные Ю.К.Зарецким и С.С.Вяловым на основе представлений структурной механики грунтов, в соответствии с которыми в качестве индикатора напряженно-деформированного состояния рассматривается структура породы и ее перестройка[xx].

Уравнение длительной прочности принималось в виде

$$C = C_0 - (C_0 - C_\infty)\frac{t_p}{T_p + t_p},$$

где C, C_0, C_∞ – соответственно текущее, условно-мгновенное и предельно-длительное значения сцепления породы; T_p – параметр длительной прочности.

Эта зависимость наиболее универсальная, так как пригодна для любых моментов времени, в том числе $t = 0$ и $t = \infty$. Параметры уравнения длительной прочности определены перестройкой кривой $C(t)$ в координатах $\frac{t}{C_0 - C} - t$.

Важным достоинством структурно-механического подхода является возможность установления на его основе зависимости между моментом начала прогрессирующего течения и скоростью относительной деформации сдвига, а также прогнозирования скорости развития оползневых деформаций.

Данные о закономерностях снижения во времени сопротивления сдвигу глинистых пород бортов Михайловского карьера позволяют уточнить параметры рабочих бортов (повысить углы их наклона с учетом фактических темпов подвигания фронта горных работ, что обеспечивает снижение текущих объемов вскрышных работ), а также регламентировать мероприятия по обеспечению устойчивости нерабочих бортов, направленные на повышение их углов наклона и сокращение площади карьерного поля (выбор режима дренажа, оценка возможностей применения противофильтрационных завес и способов искусственного упрочнения пород).

При установлении высоты отвальных насыпей и, соответственно, потребных для их размещения площадей учет изменения во времени состояния породных масс может значительно сократить нарушенные горными работами территории. Влияние фактора времени на состояние отвалов наиболее существенно, когда тело или основание насыпей сложены глинистыми породами.

Отвальные насыпи, формирующиеся при разработке месторождений КМА, размещаются как на слабых (представленных овражно-балочными и пойменными отложениями с высокой степенью водонасыщения), так и на более надежных основаниях (четвертичных суглинках). Для прогноза уплотнения сильносжимаемых водонасыщенных глинистых пород оснований предложены и проверены в

---

[x] Гальперин А.М., Костовецкий В.П. Использование пространственно-геометрического метода при прогнозе устойчивости бортов карьеров. Матер. совещ. по проблемам теории прогноза инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых. Белгород, ВИОГЕМ, 1975.

[xx] Зарецкий Ю.К., Вялов С.С. Вопросы структурной механики глинистых грунтов. „Основания, фундаменты и механика грунтов", 1971, № 3.

натурных условиях с помощью замеров порового давления инженерные методы, базирующиеся на теории фильтрационной консолидации и позволяющие учитывать способ отсыпки отвалов (условно-мгновенное или постепенное нагружение оснований насыпными массами).

Применение расчетных схем в рамках фильтрационной консолидации в отдельных случаях допустимо также для выделяемых зондированием нижних слоев отвальных насыпей.

При уплотнении маловодонасыщенных глинистых пород отвальных насыпей вода практически не оказывает сопротивления деформированию минерального скелета. Упрощенные расчеты уплотнения таких пород можно выполнять с использованием решения компрессионной задачи ползучести квазиоднородного грунта.

Интегральные параметры ползучести отвальных пород (четвертичных суглинков) определены на конвейерном отвале Михайловского карьера в результате обработки результатов инструментальных наблюдений за осадками насыпей. Зависимость осадки S от времени t представлена (с использованием ядра ползучести экспоненциального типа $K(t)=\delta e^{-\delta_1 t}$, где δ и δ_1 – параметры) в виде

$$S(t)=a_K^o q h\left[1+\frac{\delta}{\delta_1}\left(1-e^{-\delta_1 t}\right)\right],$$

где q – средняя нагрузка от отвальных пород (рассматривается как условно-мгновенная в связи с блоковой схемой отсыпки отвала – заходками); h – мощность насыпной толщи; a_K^o – условно-мгновенное значение коэффициента сжатия.

Параметры a_K^o, δ, δ_1 определены совместным решением уравнений для трех различных моментов времени. Характеристики деформируемости сильносжимаемых водонасыщенных глинистых пород оснований отвальных насыпей Михайловского карьера уточняли с помощью натурных замеров порового давления. Комплексные исследования процессов уплотнения позволили разработать рекомендации по допустимым темпам подвигания отвального фронта с позиций устойчивости породных масс и оценить эффективность мероприятий по инженерной подготовке оснований. Учет уплотнения пород при определении параметров многоярусных отвальных насыпей (например, отвала 5 Михайловского карьера) обеспечивает обоснованный выбор порядка складирования отдельных литологических разностей и значительное сокращение площадей отвалов.

При разработке месторождений с применением средств гидромеханизации нарушение земель уменьшается за счет максимального использования овражно-балочной сети для размещения гидроотвалов, а также увеличения их высоты и емкости на основе управления процессом консолидации пород. Необходимым элементом гидроотвальных работ является контроль за состоянием намывных толщ и оснований, направленный на получение в натурных условиях надежной информации о физико-механических свойствах пород и устойчивости откосных сооружений, оценку соответствия принятого способа и режима намыва механическим характеристикам пород и геометрическим параметрам отвалов.

В связи с дефицитом земельных площадей и экономической эффективностью складирования дополнительных объемов вскрышных пород за счет сокращения

нальности транспортировки вопросы повышения емкости существующих гидроотвалов и последующего использования их территорий приобретают первостепенное значение. Для решения этих задач необходимо выполнить специальные инженерные мероприятия по обеспечению устойчивости гидроотвалов и увеличить плотность укладки вскрыши.

Устойчивость откосных сооружений гидроотвалов обеспечивается подготовкой оснований под упорные призмы, проведением мероприятий по дренажу, выполаживанию и пригрузке откосов, а также применением оптимальных (в отношении устойчивости породных масс) схем отвалообразования.

Внедрение послойного намыва - основного мероприятия по повышению плотности укладки гидровскрыши - возможно путем совместного гидравлического складирования на гидроотвалах карьеров КМА глинисто-меловых пород, песков и хвостов обогащения, на гидроотвалах карьеров Кузбасса глинистых и дробленых полускальных (аргиллитов, алевролитов, песчаников) пород. При этом порядок чередования слабоводопроницаемых и дренирующих слоев следует устанавливать с учетом характера развития процессов уплотнения тонкодисперсных масс.

Для оценки возможностей последующего использования гидроотвальных площадей разработана методика определения продолжительности периодов „отдыха", по истечении которых глинистые намывные породы приобретают несущую способность, достаточную для безопасного ведения работ по рекультивации, укладке „сухих" отвалов или складированию дополнительных объемов пород гидравлическим способом.

Комплекс выполненных на гидроотвалах карьеров КМА и Кузбасса натурных исследований включал замеры порового давления стационарными датчиками, зондирование тонкодисперсных масс штанговыми пьезодинамометрами Гидропроекта и приборами вращательного среза, инструментальные наблюдения за осадками намывных слоев и оснований. Натурные наблюдения дополнялись испытаниями глинистых пород гидроотвалов на универсальных стабилометрах конструкции МИИТ и ВИОГЕМ.

С помощью замеров порового давления путем обратных расчетов по величине степени уплотнения глинисто-меловых (КМА) и глинистых (Кузбасс) слоев, полученной в результате зондирования, или по значениям порового давления в точках закладки стационарных датчиков определены коэффициенты консолидации намывных пород для различных участков гидроотвалов. При обработке натурных данных учтена зависимость обобщенной характеристики уплотняемости пород во времени (коэффициента консолидации) от нагрузки. Для глинистых намывных пород Ново-Бачатского гидроотвала Краснобродского карьера (Кузбасс) параметры нелинейной консолидации установлены также с использованием инструментальных замеров осадок намывных масс.

Данные зондирования, стационарных наблюдений и лабораторных испытаний использованы при установлении соотношений между потребными объемами пригрузки (контрбанкетов), высотой гидроотвала и интенсивностью намыва; при получении (с применением решений задач уплотнения слоев переменной мощности) зависимостей между мощностью глинистых слоев, темпом намыва и продолжительностью их „отдыха" (с позиций последующего использования отваль-

ных площадей); при разработке рекомендаций по контролю устойчивости откосных сооружений. Выбор рациональных схем последующего использования гидроотвалов позволяет сохранить большие площади плодородных земель, расходы на восстановление которых после укладки отвалов составляют 5-10 тыс.руб. на 1 га.

Результаты проведенного МГИ совместно с Губкинским СУ треста «Гидромеханизация" зондирования ядерной зоны крупнейшего (емкостью свыше 200 млн.м^3) гидроотвала «Березовый Лог" использованы проектной конторой «Гидромехпроект" при составлении проекта работ на последний период намыва (1975-1980 гг.). Рекомендации МГИ по контролю порового давления включены в проект усиления упорной призмы гидроотвала «Березовый лог", выполненный Украинским отделением института «Гидропроект". Для обеспечения контроля за состоянием пород при намыве и дальнейшем использовании территории гидроотвала «Березовый лог" создана (впервые в отечественной горнотехнической практике) стационарная система наблюдения за поровым давлением по наиболее ответственным профилям.

В предположении закрытия ядерной зоны этого гидроотвала (площадь около 650 га) дренирующим материалом и сброса из нее воды дана предварительная оценка возможности размещения «сухих" отвалов на гидроотвале, составлен ориентировочный календарный план складирования дополнительных объемов вскрышных пород с учетом изменения во времени несущей способности глинисто-меловых намывных масс для различных периодов после окончания намыва.

Общая площадь намывных сооружений (гидроотвалов и хвостохранилищ) в пределах лишь Старо-Оскольского железорудного узла КМА составляет около 5 тыс.га. Общая площадь гидроотвалов карьеров Кузбасса составляет 2,5 тыс.га (при общей площади открытых разработок около 30 тыс.га). Размещение на этих площадях дополнительных объемов вскрышных пород обеспечивает экономический эффект, измеряющийся десятками миллионов рублей. В связи с изложенным следует подчеркнуть настоятельную необходимость систематического инженерно-геологического изучения толщ гидроотвалов и хвостохранилищ для установления пространственно-временных закономерностей изменения физико-механических свойств намывных масс.