

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.271.45; 624.131.4

С. М. Простов

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

По результатам экспериментально-теоретических исследований, проведенных в рамках Федеральной целевой программы, разработаны научные основы методического обеспечения системы комплексного мониторинга откосных сооружений угольных разрезов.

Разработаны алгоритмы диагностирования горизонтальных смещений и оседаний техногенных грунтовых массивов, основанных на пошаговой обработке каркасных и погоризонтных цифровых моделей, являющихся результатом аэрофотографического мониторинга. Алгоритмы реализованы в форме циклических компьютерных программ.

Разработана система многоуровневого ком-

плексного мониторинга физического состояния неустойчивых зон грунтовых оснований горно-технических сооружений, включающая глобальный аэрофотографический мониторинг для выявления опасных зон на объектах с большой площадью, региональный геолого-маркшейдерский мониторинг для обоснования необходимости прогноза устойчивости, локальный электрофизический мониторинг гидрогеологических аномалий на межскважинных интервалах, компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния техногенного массива и расчет коэффициентов запаса устойчивости в наиболее опасных сечениях.

Точная локализация аномальных зон в масси-



Рис. 1. Алгоритм интерактивной интерпретации данных вертикальных электрических зондирований

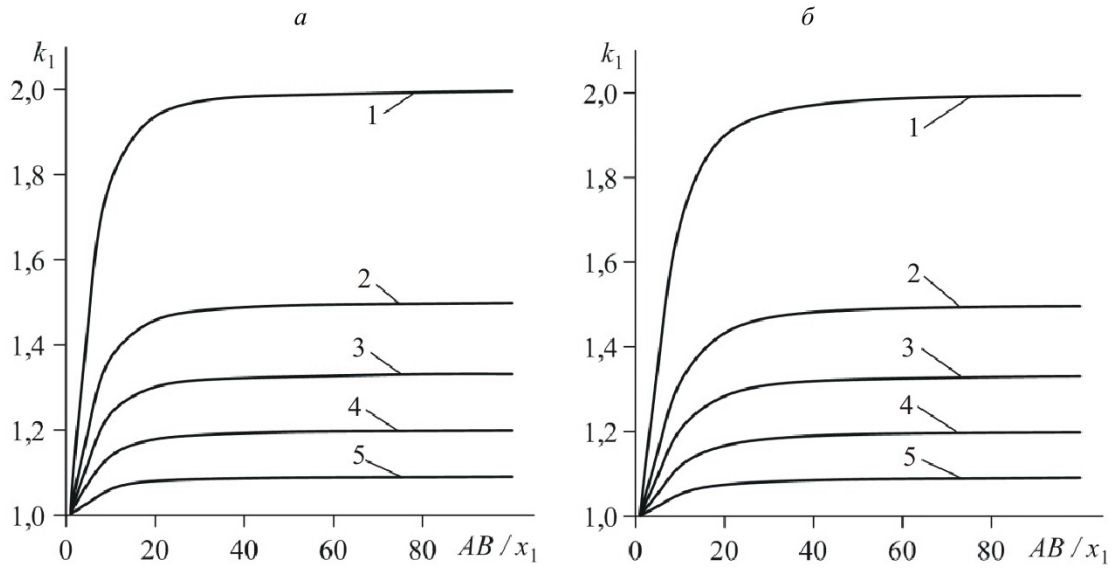


Рис. 2. Коэффициент, учитывающий влияние откоса уступа на измеряемую разность потенциалов для классической установки ВЭЗ при $AB/MN = 5$ (а) и $AB/MN = 2$ (б):
 $1 - \alpha = 90^\circ$; $2 - \alpha = 60^\circ$; $3 - \alpha = 45^\circ$; $4 - \alpha = 30^\circ$; $5 - \alpha = 15^\circ$

ве горных пород электрофизическим методом возможна только на основе количественной интерпретации данных. Основная сложность, возникающая при количественной интерпретации, связана с некорректностью обратных задач электроразведки.

Основными методами решения обратных задач геофизики являются методы регуляризации, суть которых заключается в том, что решение исходной некорректно поставленной задачи заменяется решением множества корректно поставленных задач и выбором из большого числа полученных приближенных решений некоторого одного решения, наилучшим образом описывающего точное решение, устойчивое по отношению к погрешностям исходных данных.

Алгоритм интерактивной интерпретации данных вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) при локализации влагонасыщенных зон на участках четвертичных отложений бортов карьеров включает: выбор опорных моделей геоэлектрического разреза изучаемого профиля на основе предварительного анализа априорной информации в виде координат x , y , z аномального слоя, полученных по данным визуальных наблюдений; определение диапазонов изменений электрических свойств пород и координат границ слоев; определение типов геоэлектрических разрезов путем визуального сопоставления всех графиков ВЭЗ.

Расчетная часть алгоритма представляет собой одномерную инверсию графиков ВЭЗ и включает: формирование массива данных опорных моделей; решение прямой задачи электроразведки с расчетом кривых кажущегося электросопротивления ρ_k , соответствующих опорным моделям; корректировку опорных моделей посредством минимизации квадратичных невязок между исходными

полевыми кривыми и результатами расчетов по опорным моделям; построение конечного одномерного геоэлектрического разреза изучаемого профиля с горизонтальными границами влагонасыщенных зон (рис. 1).

При ВЭЗ, проводимом вблизи бровки уступа, величина измеренного эффективного удельного электросопротивления (УЭС) завышается, следует вводить поправочный коэффициент, изменяющийся в диапазоне $k_1 = 1 \dots 2$, зависящий экспоненциально от разности AB установки $AMNB$, нелинейно уменьшающийся с уменьшением угла откоса α и увеличением расстояния x_1 от бровки до оси профиля (рис. 2).

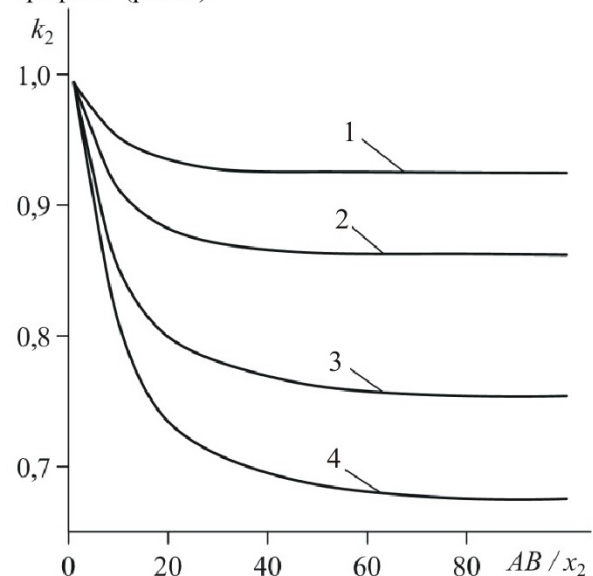


Рис. 3. Коэффициент, учитывающий влияние дамбы на измеряемую разность потенциалов для классической установки ВЭЗ при $AB/MN = 5$:
 $1 - \alpha = 15^\circ$; $2 - \alpha = 30^\circ$; $3 - \alpha = 60^\circ$; $4 - \alpha = 90^\circ$

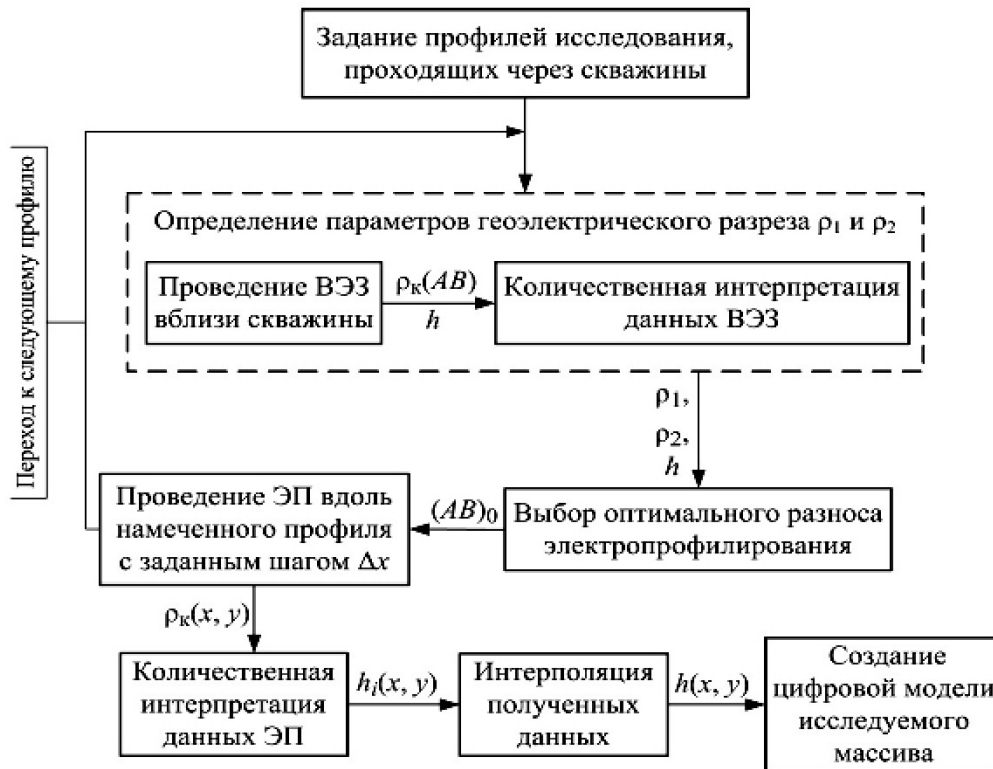


Рис. 4. Алгоритм создания объемной геoeлектрической модели при доразведке мощности рыхлых отложений

При измерениях вблизи основания дамбы эффективное УЭС занижается, следует вводить поправочный коэффициент, изменяющийся в диапазоне $k_2 = 0,67 \dots 1$, уменьшающийся экспоненциально при увеличении разноса AB , при этом величина поправки нелинейно возрастает с увеличением угла откоса α и уменьшением расстояния x_2 до него (рис. 3).

Влияние дополнительного проводящего слоя на глубине h в приоткосной области занижает значение эффективного УЭС, максимум аномалии соответствует диапазону $AB = (2-4)h$.

В реальном диапазоне геометрических параметров и УЭС аномального слоя его искажающее влияние не превышает 5 %.

Алгоритм создания объемной геoeлектрической модели включает: ввод граничных координат исследуемой области массива, задание границ аномальных зон по истинному УЭС, определение их горизонтальной протяженности, детализацию структуры влагонасыщенных зон в плане по данным электропрофилирования (ЭП), интерполяцию и экстраполяцию вертикальных и горизонтальных границ в объеме; выбор наиболее информативного вида объемной модели для визуализации (рис. 4).

Проведенные исследования позволили рекомендовать следующие технологические решения при мониторинге и прогнозе устойчивости участков бортов карьеров, сложенных песчано-глинистыми грунтами четвертичных отложений:

расчетные модели борта должны составляться с учетом выявленных при геофизическом мониторинге аномалий геологической структуры массива в виде ослабленного водонасыщенного слоя; в расчетах устойчивости необходимо применять скорректированные прочностные параметры грунтов, полученные путем обратных расчетов для профилей с наиболее развитыми деформациями борта.

Расчет коэффициента запаса устойчивости η верхней части борта карьера по схеме обводненного откоса включает: определение геометрических параметров влагонасыщенной зоны в расчетном сечении из объемной геoeлектрической модели; корректирование физико-механических свойств пород путем обратных расчетов на основе линейной зависимости сцепления и угла внутреннего трения массива от коэффициента запаса устойчивости (рис. 5).

При неучете результатов геофизического мониторинга величина коэффициента запаса устойчивости борта может быть завышена на 19–88 %, а без корректирования прочностных свойств грунтов – на 11–56 %.

Установлены основные закономерности формирования оползнеопасных зон и критериальные значения контролируемых параметров при прогнозе их устойчивости.

В частности, установлено, что штатный режим эксплуатации гидроотвалов при наращивании ограждающих дамб и отсыпке вскрышных пород

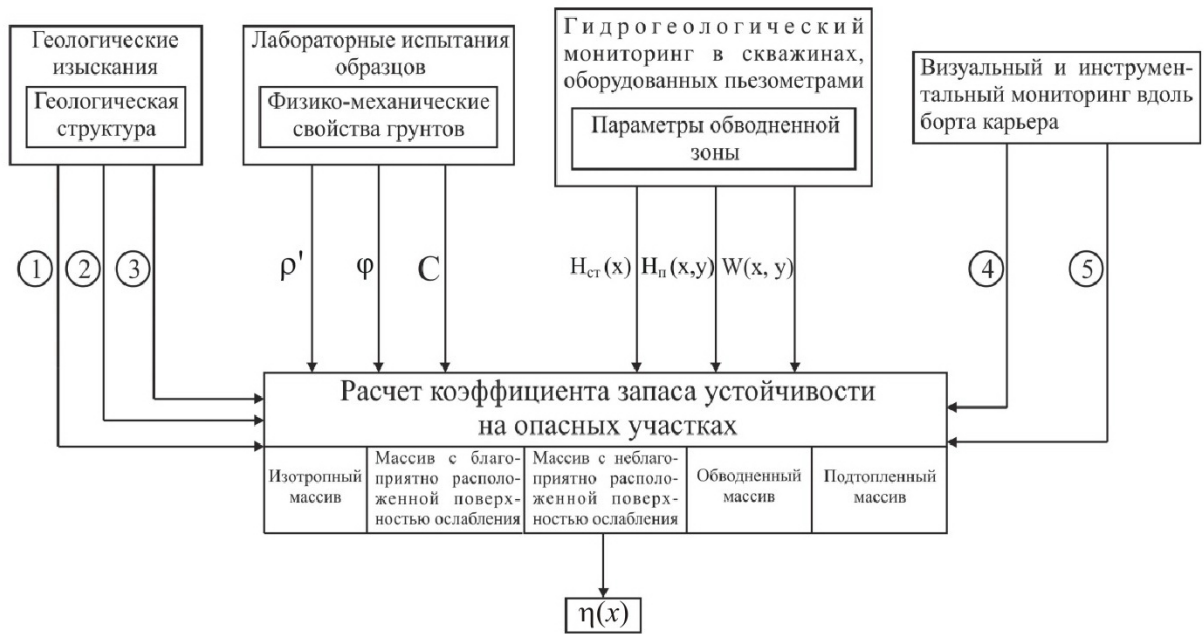


Рис. 5. Схема прогноза устойчивости техногенного грунтового массива:

1 – характеристика изменений свойств массива в пространстве; 2 – стратиграфический разрез; 3 – соотношение литологических разностей; 4 – визуальные признаки развития оползня; 5 – гидрогеологические аномалии; ρ' – средняя плотность грунта; ϕ – угол внутреннего трения; C – сцепление; $H_{ст}$ – статический уровень воды; H_n – избыточное поровое давление; W – влажность

на намывное основание характеризуется монотонным смещением точек откоса со скоростью до 100 мм/год, непрерывным рассеиванием порового давления в намывном массиве со средней скоро-

стью $P' = 9\text{--}20$ кПа/год, что приводит к ежегодному повышению коэффициента запаса устойчивости на 3–5 %.

Основной причиной снижения устойчивости

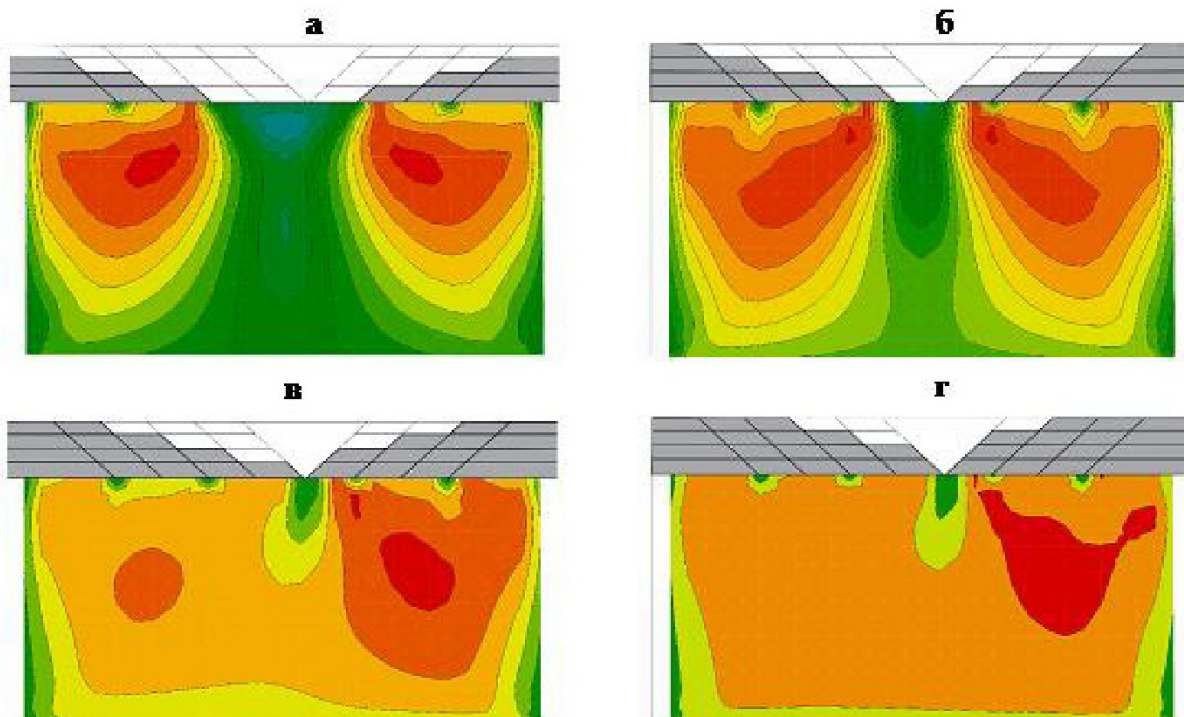


Рис. 6. Схема формирования порового давления в намывном массиве при отвалообразовании встречными заходками, 1-й этап (а), 2-й этап (б), 3-й этап (в), 4-й этап (г)

откосов гидроотвалов при их эксплуатации является нарушение процессов фильтрационной разгрузки и консолидации намывного массива, приводящее к формированию ослабленных зон, сложенных слабо уплотненными суглинками и глинами текуче- и мягкопластичной консистенции с остаточной влажностью 31–40 %, сцеплением 20–30 кПа, в которых поровое давление P стабилизируется или повышается на 40–50 кПа/мес. Указанные зоны диагностируются по отрицательным аномалиям удельного электросопротивления в диапазоне $\rho = 10\text{--}30$ Ом·м методами электромагнитного сканирования или электрического зондирования, а оперативный мониторинг обеспечивается измерением порового давления в пределах этих зон и расчетом критических уровней в диапазоне $P_{кр} = 100\text{--}1000$ кПа.

Основной причиной снижения устойчивости техногенного массива при отсыпке вскрышных пород на намывное основание является формирование под отвальным блоком на глубине 12–15 м напряженной зоны с поровым давлением, достигающим $P_{max} = 4,49$ МПа при отсыпке блока на полную высоту до 20 м и $P_{max} = 2,57$ МПа при отсыпке слоями мощностью до 5 м, что снижает коэффициент запаса устойчивости соответственно на 10–24 % и не более, чем на 8 %. При отвалообразовании встречными заходками внешняя грани-

ца напряженной зоны выходит за контуры блока на расстояние до 20 м, что приводит к необходимости вести мониторинг в режиме управляемых деформаций (рис. 6).

При оползневых деформациях в процессе эксплуатации комбинированного отвала в приоткосной зоне техногенного массива формируются аномальные ослабленные зоны, требующие проведения дополнительного геофизического и гидрогеологического мониторинга и снижающие устойчивость системы «отвальный блок – ограждающая дамба – борт карьера».

Разработанные система многоуровневого мониторинга, методики инструментальных наблюдений внедрены и проходят опытно-промышленную проверку на угольных разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

В частности, ведется непрерывный мониторинг на гидроотвалах угольных разрезов «Кедровский», «Бачатский», «Краснобродский», «Сартакинский». Использование разработок позволяет увеличить базу мониторинга до 2000 м и одновременно повысить его точность для объектов большой площади (отвалов, шламохранилищ, насыпей), снизить риск техногенных аварий и затраты на безопасную эксплуатацию горнотехнических сооружений.

□ Автор статьи:

Простов
Сергей Михайлович?
докт. техн. наук, профессор каф.
теоретической и геотехнической
механики КузГТУ,
E-mail psm.kem@mail.ru

УДК 622.279.72:622.831.322

Т.Л.Ким

ОБРАЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В УГОЛЬНОЙ МАТРИЦЕ

Проблема борьбы с внезапными выбросами угля и газа при подземной разработке угольных месторождений остается актуальной на сегодняшний день, но неоднозначность интерпретаций результатов текущего прогноза не позволяет однозначно судить о возможности проявлений газодинамических явлений¹. На сегодняшний день на шахтах России произошло 910 внезапных выбросов угля и газа [1].

Условия возникновения и формы проявления газодинамической активности угольных пластов разнообразны. Чаще всего процессы, приводящие

к внезапным выбросам угля и газа, развиваются в диаметрально противоположных направлениях. В настоящее время до конца не решены вопросы, связанные с формами связи метана с угольной матрицей, а так же неясно, откуда берутся большие объемы газа при внезапных выбросах, превышающих объемы, обусловленные природной газоносностью угольных пластов.

Было показано[2], что в «свободном» состоянии газа в поровом пространстве пласта находится значительно меньше, чем фиксируется при внезапных выбросах. Возникает вопрос о возможности существования иной формы связи молекул газа с угольной матрицей, кроме адсорбционной. Первым этапом нашего исследования стало изучение термодинамических условий, т.е. парамет-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Михаила Прохорова, № договора 145/12