

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА КАРЬЕРАХ

Предложена методика прогнозирования оползневых процессов на карьерах. Методика предусматривает использование комплексного подхода, основанного на инженерных методах механики горных пород и численно-аналитических методах механики сплошной среды.

Запропоновано методіку прогнозування зсувних процесів на кар'єрах. Методіка передбачає використання комплексного підходу, заснованого на інженерних методах механіки гірських порід і чисельно-аналітичних методах механіки суцільного середовища.

A method for prediction of landslide processes in the quarries. The technique involves the use of a comprehensive approach based on engineering methods of rock mechanics and numerical and analytical methods of continuum mechanics.

Введение. Современный уровень развития технологии горных работ на карьерах характеризуется усложнением горно-геологических условий, интенсификацией горных работ, значительным увеличением параметров карьера. При этом возрастает риск развития деформаций приконтурного массива горных пород из-за неблагоприятных горно-геологических и инженерно-геологических условий, изменения напряженно-деформированного состояния горного массива и воздействия сейсмических волн природного и техногенного происхождения.

В настоящее время при проектировании и строительстве карьеров, зачастую, применяются упрощенные методики расчета параметров бортов. Такой подход приемлем для небольших глубин разработки, поскольку экономический ущерб от неточного определения границ и формы выработанного пространства невелик. Глубокие и сверхглубокие карьеры представляют собой инженерные сооружения со своими, во многом, уникальными особенностями. Недостаточный учет этих особенностей может приводить к нежелательным экономическим последствиям. Этим и объясняется необходимость разработки методики прогнозирования оползневых процессов бортов и отвалов, которая учитывала бы как общие черты глубоких карьеров, так и допускала бы модификацию с целью привязки к особенностям горно-геологических условий конкретного карьера.

Целью настоящей статьи является совершенствование предложенного ранее подхода [1-4] для прогнозирования и предупреждения деформаций бортов, карьеров, откосов и склонов.

Основная часть. Методика прогноза и предотвращения оползней основана на следующих положениях:

- 1) для предсказания времени и места проявления оползневых процессов используется модель, основанная на использовании временных рядов;
- 2) для определения объема деформации используется инженерная численно-аналитическая методика, изложенная в работах [3,4]
- 3) в качестве “спускового механизма” начала оползня рассматриваются техногенные землетрясения (проведение массовых взрывов на карьере).

Методика предусматривает использование комплексного подхода, основанного на инженерных методах механики горных пород и численно-аналитических методах механики сплошной среды.

Она может быть адаптирована к совместному использованию с системой спутникового маркшейдерского обеспечения GPS, применяемого на карьерах.

Рассмотрение отдельных положений данной методики можно начать с определения времени и места проявления оползневой процесса.

При внешней сложности явлений, происходящих в горном массиве, для интегрального описания деформационных процессов ниже предлагается и обосновывается относительно простая геомеханическая модель.

Известно, что тектонические движения в горноскладчатых областях локализируются, в основном, на стыках блоков по разломам. На фоне медленных необратимых смещений выделяются периодические сезонные деформации, обусловленные вариациями внешней температуры и изменением водонасыщенности горных пород в различное время года. Волна деформации имеет вид довольно правильной синусоиды с максимумом, сдвинутым относительно максимума температуры. Следует отметить, что сезонные деформации регистрируются повсеместно [4]. Их амплитуда и характер изменения в течение года определяются сезонными вариациями температуры и ее градиентом, количеством осадков, свойствами пород и т. д. Изучение сезонных деформаций представляет значительный интерес. Не выделив сезонных деформаций, нельзя определить движение, вызванное геомеханическими факторами.

Деформации и смещения массивов горных пород в бортах карьеров происходят при постоянно изменяющихся условиях. Под влиянием природных и техногенных факторов изменяются как действующие на массив силы, так и его внутренние связи. Учитывать такие изменения позволяет модель, построенная на анализе временных рядов. В качестве временного ряда рассматривается совокупность измерений, выполненных в тех же условиях, при которых делается прогноз.

Анализ полученных результатов наблюдений за смещениями массивов высоких склонов, где отчетливо выражена линейная тенденция процесса с наложенными на нее периодическими колебаниями синусоидального типа, дает основание использовать для прогноза модель [1], описываемую функцией типа

$$u(t) = b_1 + b_2 t + A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

где φ означает начальную (неизвестную) фазу, а $\omega = \frac{2\pi}{12}$. Параметры b_1 , b_2 ,

A , φ находятся с помощью метода наименьших квадратов. Для применения этого метода необходимо иметь ряд наблюдений продолжительностью не менее 2–3 лет.

Информативными показателями устойчивости массивов горных пород, в том числе и горных склонов, следует считать смещения, деформации и их производные по времени. В работах по устойчивости склонов и откосов в качестве критических обычно рассматривается величина смещений, деформаций или их

скорости. Однако эти величины сильно зависят от инженерно-геологических условий, параметров склонов и изменяются в довольно широких пределах. Поэтому правильней пойти по пути анализа изменения параметров деформационного процесса при различных возмущающих воздействиях. В качестве возмущающих воздействий могут рассматриваться землетрясения, взрывы, вариации метеорологических условий. Сейсмические колебания интенсивностью более семи баллов приводят к увеличению скоростей смещений в 15–20 раз. При достижении средней скорости деформаций порядка 10^{-4} 1/год, ее увеличение при любых возмущающих воздействиях следует рассматривать как переход массива в неустойчивое состояние. При средних скоростях деформаций массивов пород порядка 10^{-5} 1/год и менее временный их рост может привести к затуханию и общая скорость не превысит 10^{-4} 1/год.

В качестве второго деформационного критерия устойчивости массивов пород предлагается рассматривать амплитуду сезонных деформаций, возникающих под воздействием вариаций метеорологических условий. Амплитуда сезонных деформаций при устойчивом состоянии массива остается постоянной. При возникновении новых поверхностей разрушения и развитии смещений массива по существующим поверхностям ослаблений амплитуда возрастет. Если в соответствии с предложенной моделью (1) деформаций массивов горных склонов, учитывающей линейную тенденцию роста и периодическую составляющую синусоидального типа, принять амплитуду периодических смещений изменяющихся во времени, и равной в начальный момент времени A_0 , а в любой другой момент A_t и обозначить $\Delta A(t) = A_t - A_0$, то предлагаемый критерий устойчивости по амплитуде сезонных деформаций будет иметь вид

$$\Delta A(t) \leq 0 \text{ – массив устойчив,}$$

$$\Delta A(t) > 0 \text{ – массив неустойчив.}$$

На основе новых данных, получаемых в результате наблюдений, может происходить постоянная корректировка параметров модели (1), их адаптация к непрерывно изменяющимся условиям работы массива.

Для этих целей целесообразно проводить непрерывный мониторинг смещений и деформаций участков борта карьера, который подразумевает длительное инструментальное наблюдение за изменением пространственных координат реперов наблюдательных станций. В отличие от существующих на сегодняшний день видов мониторинга, когда производятся моментные измерения величин смещений и деформаций с периодичностью от одного до нескольких раз в год, непрерывный мониторинг позволяет детально изучить кратковременные процессы, протекающие в верхней части земной коры.

Для непрерывного мониторинга смещений и деформаций земной поверхности наиболее целесообразно использование комплексов спутниковой геодезии GPS, так как они имеют ряд преимуществ перед традиционными геодезическими методами. Во-первых, геодезические наблюдения с применением GPS оборудования можно проводить в любое время суток, при любой погоде и при отсутствии прямой видимости между реперами. Во-вторых, мониторинг сме-

щений и деформаций возможно производить практически без непосредственного присутствия оператора, управляя приборами либо по кабельной связи, либо по радиоканалу, либо заранее задавая необходимые параметры для работы оборудования в автоматическом режиме. В-третьих, в результате мониторинга в заранее заданный момент времени одновременно определяются все три координаты точки стояния прибора; в случае, когда мониторинг ведется тремя или более GPS приемниками, образуются жесткие пространственные геометрические связи с другими реперами мониторинговой GPS сети, на которых в данный момент времени производятся измерения.

Для проведения непрерывного мониторинга смещений и деформаций земной поверхности наиболее целесообразно использовать GPS приемники геодезического класса, с помощью которых, при соблюдении определенных условий, можно достичь миллиметровой точности определения координат реперов наблюдательной станции.

Инструментальными исследованиями высокоточными геодезическими измерениями должен быть охвачен протяженный участок горного массива, находящийся под техногенным влиянием масштабных горных разработок. В этом случае становятся доступными качественно новые данные об изменении во времени суммарного поля деформаций, которое формируется при наложении поля техногенных деформаций на поле естественных деформаций. Эти данные позволяют не только уточнить параметры принятой геомеханической модели разрабатываемого месторождения, но и уверенно прогнозировать развитие процесса сдвижения, оценить степень риска возникновения негативных геомеханических явлений и обоснованно решать вопросы охраны сооружений, попадающих в области влияния горных разработок.

Вопрос определения размеров возможного оползня тесно связан с вопросом устойчивости. Анализ методов определения поверхностей сдвижения показал, что в существующей теории устойчивости откосов недостаточно исследованы задачи определения местоположения потенциальных поверхностей сдвижения в массивах, имеющих различную структуру. Кроме того, использование заранее выбранной формы поверхности сдвижения в виде элементарной математической функции для оценки устойчивости откосов является менее обоснованным подходом по сравнению с подходом, когда форма и местоположение потенциальной поверхности сдвижения определяется расчетным путем в зависимости от физико-механических свойств и формы дневной поверхности массива[2].

Выводы. В целом можно отметить, что подход, основанный на применении описанной выше методики, является перспективным и позволяет повысить уровень безопасности ведения открытых горных работ. Дальнейшее его развитие возможно в направлении более полного учета данных о деформациях откосов на карьере, накопленных в период наблюдений. Актуальной является и автоматизация прогнозных расчетов с использованием специальных программных средств

Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают реальность создания математических моделей деформационных процессов на карьерах. Можно также отметить, что возможность предрасчета и моделирования си-

туації надає певні можливості в управлінні процесом. Дійсно, якщо процес деформування масива горних порід залежить від технології, то, знаючи цю залежність, цілеспрямованими діями можна направити цей процес в потрібне русло, а саме, спрямоване на запобігання небезпечній ситуації, а не провокуюче катастрофічну ситуацію.

Список літератури

1. Степанов В.Я. Геомеханічний моніторинг горних схилів при спорудженні великих промислових об'єктів// Матеріали ІХ Всесоюзної конференції по механіці горних порід – Фрунзе: Ілим, 1990, – С.28 - 41.
2. Голуб В.В., Полицук С.З. Дифференціальне рівняння лінії сдвигу природних і техногенних відкосяків// Сб. наук. трудов НГА України №9, Том 2. – Днепропетровск: РИК НГА України, 2000. – С.140-146.
3. Полицук С.З., Баранов Ю.Д., Голуб В.В., Шурыгин В.Д. Використання комп'ютерних технологій для прогнозування оползневих явищ на кар'єрах// Зб. наук. праць 13-ї Міжнар. наук.-практ. конф. „Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини”. Вип. 13. Київ, 2003.- С. 87-90.
4. Быковцев А.С., Прохоренко Г.А., Сытенков В.Н. Моделирование геодинамических и сейсмических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых. – Ташкент: Фан, 2000. – 271с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собко Б.Ю.
Надійшла до редакції 11.11.2014*

УДК 624.131.381

© V.P. Francuck, T.V. Shepel, O.E. Shevchenko

DEEP-WATER ORGANIC-MINERAL SEDIMENTS OF THE BLACK SEA AS THE OBJECT OF MINING AND DEWATERING

The results of laboratory investigations of grain-size, physical, mechanical and rheological properties of the deep-sea organic-mineral sediments sampled from the depth of 1,920 – 2,150 m at the polygon “Sapropels” in the Black Sea are given. The results obtained are analyzed. The class of particle size distribution and soil category in difficulty of developing for this type of sediments are established.

Представлено результати лабораторних досліджень гранулометричного складу, фізико-механічних та реологічних властивостей глибоководних органо-мінеральних відкладень Чорного моря, відібраних з глибини 1920 – 2150 м на полігоні «Сапропелі». Проведено аналіз отриманих результатів. Визначено клас даного типу відкладень по гранулометричному складу і категорія ґрунту по важкості розробки.

Приведены результаты лабораторных исследований гранулометрического состава, физико-механических и реологических свойств глубоководных органо-минеральных осадков Черного моря, отобранных с глубины 1920 – 2150 м на полигоне «Сапропели». Проведен анализ полученных результатов. Определен класс данного типа отложений по гранулометрическому составу и категория ґрунта по трудности разработки.