
© А.М. Демин, Н.П. Горбачева,
А.Б. Рулев, Г.Г. Ткачев,
2009

УДК 622.271

А.М. Демин, Н.П. Горбачева, А.Б. Рулев, Г.Г. Ткачев

АНАЛИЗ КРИВОЙ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД*

Приведены результаты анализа кривой разрушения массива горных пород согласно выдвинутой нами концепции исследования геодинамических техногенных процессов как квантовых систем, обладающих энергетическими уровнями и ядрами деформаций. Даны примеры практического использования кривой разрушения.

Ключевые слова: оползневый процесс, геодинамический техногенный процесс, горные породы, приоткосный массив.

Семинар № 3

**A.M. Demin, N.P., Gorbacheva,
A.B. Rulev, G.G. Tkachev**

THE ANALYSIS OF THE FRACTURE PATH OF THE ROCK MASSES

The results of the analysis of the fracture path of the rock masses are given. The analysis was conducted according to the conception of the study on geodynamic technogenic processes as quantum system made of three energetic levels and the center of deformation. The examples of the implementation of the conception are given.

Key words: soil slip, geodynamic technogenic process, rocks, sloping rocks mass.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00201а)

Основная идея, положенная нами в основу исследования геодинамических техногенных процессов, сопровождающих разработку месторождений твёрдых полезных ископаемых, заключается в доказательстве единобразия деформационного процесса на любом масштабном уровне. В данной работе мы покажем, что конечный результат оползневого процесса – разрушение приоткосной части уступа – происходит в пульсацион-

ном режиме с подвижками вдоль горизонтальных энергетических уровней гравитационного происхождения, формирующими ступенчатую форму оползня. Поскольку оползень – явление гравитационное, и работа сил тяжести зависит от высоты и не зависит от формы пути, поэтому потенциальную энергию, содержащуюся в теле в скрытом виде, можно рассматривать распределенной по широтным гравитационным уровням, дискретно расположенным по высоте. Такое распределение условно можно сравнивать с плоским телом, поднимаемым на различные высоты – уровни. Широтные гравитационные уровни нанесены тонкими линиями на маркшейдерские профили пяти оползней, представленных на рис. 1. Видно, что подвижки, формирующие деформационные блоки, происходили вдоль энергетических уровней, а между уровнями наблюдалось изменение наклона профильной линии.

Построения, выполненные на рис. 1, показывают, что деформации в уступе развивались как реакция отпора основания (ядро О), реакция верхней площадки уступа (ядро U), реакция горного массива – боковой отпор –

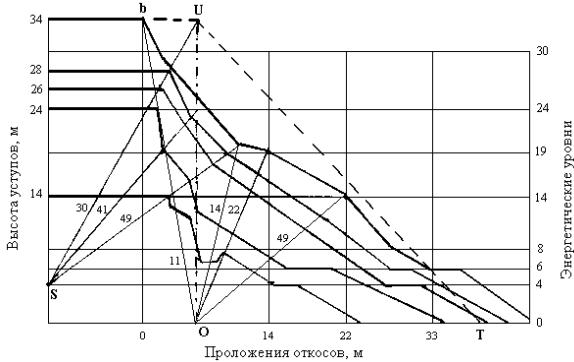


Рис. 1. Профили оползней уступов высотой 14, 24, 26, 28 и 34 м, пунктир - профиль уступа $H = 34$ м до оползня, b - ширина захвата; O, U, S, T - ядра деформаций

(ядро S) и реакция зоны опорного давления откоса (ядро сдвига T).

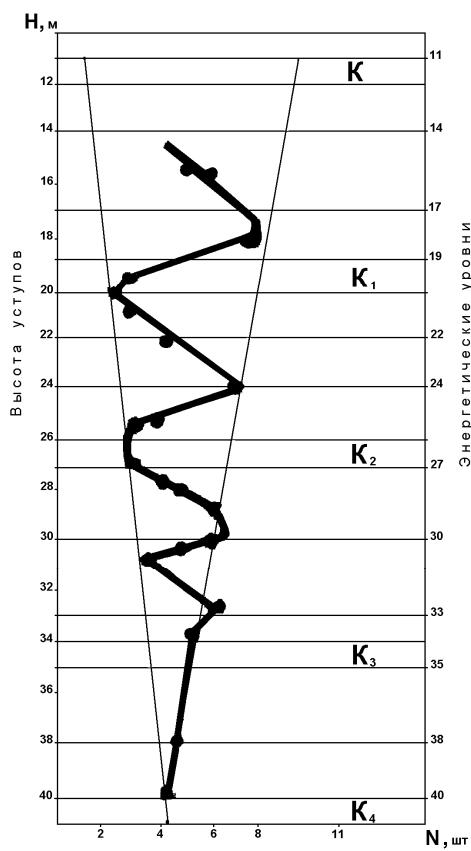


Рис. 2. Зависимость количества деформационных блоков N от высоты уступа H

Видно, что с изменением высоты уступа претерпевают изменения все технологические параметры оползня, в то время как механизм формирования оползня (ядра и углы конусов деформаций) остаются неизменными. Особенно заметно влияет высота уступа на количество деформационных блоков, образованных оползневым процессом (рис. 2).

С увеличением высоты уступа, т.е. с вовлечением всё большего объема горного массива в оползневый процесс, количество деформационных блоков уменьшается, а их длина увеличивается. Иначе можно сказать, что с ростом глубины, количество блоков уменьшается, что согласуется с выводами других авторов. Причем уменьшение блочности с глубиной наблюдается в пределах конуса с раствором 17 градусов и с характерными пульсациями вдоль горизонтальных энергетических уровней. На рис. 2 видны пульсации в виде попаременного увеличение и уменьшения количества деформационных блоков. Уровни, вдоль которых наблюдается разделение на наименьшее количество блоков (упрочнение) обозначены буквой K , поскольку они энергоемкие, во всех остальных случаях наблюдается разуплотнение и пластические подвижки среды, на которые тратится вся запасенная энергия.

Аналогичные пульсации параметров вдоль уровней наблюдаются при динамическом давлении на стенку стальной трубы при выпуске песка, зафиксированные И. Шмидом [1] (рис. 3).

Гравитационный поток песка в трубе создает давление P с характерными пульсациями вдоль горизонтальных

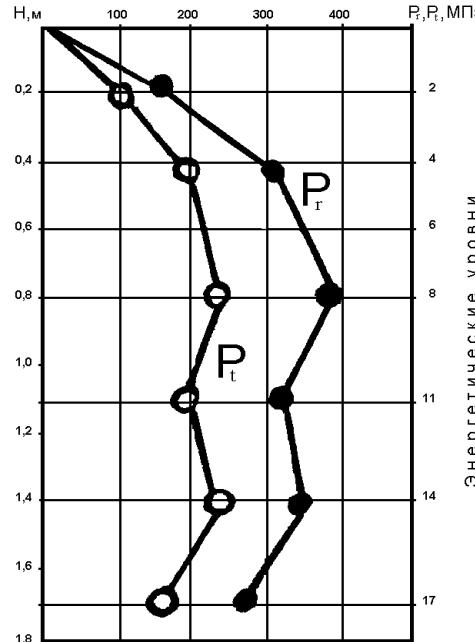


Рис. 3. Распределение нормальных P_r и касательных P_t напряжений на стенке трубы при выпуске песка; (установившийся режим)

энергетических уровней. Скорость выпуска песка не оказывает влияния на величину всплесков динамического давления, которое в 2.5 раза превысило статическое давление. Наибольшее давление P_r стальная труба испытывает вдоль уровня 8. Тангенциальное давление P_t одинаково высокое как на уровне 8, так и на уровне 14. Следовательно, на уровнях 8 и 14 происходит максимальное разуплотнение среды, создающее динамический удар на стенку трубы. На уровнях 11 и 17 наблюдается поджатие среды (накопление потенциальной энергии), и давление на стенку минимальное.

Объяснения выявленным пульсациям динамического давления можно найти, если рассматривать различные проявления геодинамических процессов с квантовых позиций. В ограниченном пространстве (кусок выпускной трубы или уступ) потенциальная энергия распределяется вдоль энергетических уровней, расположенных дискретно по высоте. Переход потенциальной энергии в кинетическую энергию происходит порциями – квантами. Особенность квантовых систем состоит в том, что их внутренняя энергия меняется не непрерывно, а может принимать лишь определенные значения, образующие дискретный набор.

Дискретные значения энергетических уровней были нами определены путем анализа многочисленных экспериментальных исследований, а также показана их стационарность в различных диапазонах измерений [2].

Характерные пульсации вдоль энергетических уровней наблюдаются так же на кривой (рис.4), где показано изменение относительного удлинения откоса уступа вдоль уровней в зависимости от высоты уступа. (Высота уступа, для удобства сравнения с другими данными, отложена вниз подобно глубине). По горизонтальной оси отложена величина относительного удлинения всего откоса, имеющего первоначальную длину L . Относительное удлинение откоса уступа после оползня выражается отношением суммы отрезков ломаной маркшейдерского профиля оползня к первоначальной длине сдвигающейся части приоткосного массива, в которую входит и ширина захвата оползнем верхней площадки уступа b . На рис.1 пунктиром показана первоначальная длина сдвигающейся части приоткосного массива уступа высотой 34м. Выбранная новая характеристическая величина – удлинение откоса ополз-

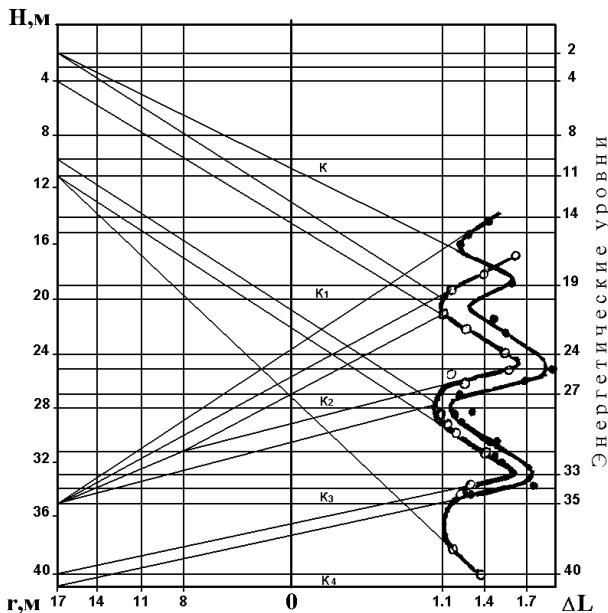


Рис. 4. Кривая разрушения массива горных пород

нем - безразмерна и изменяется в пределах от 1.1 до 2.0. Каждая точка на графике 4 – это удлинение поверхности одного уступа в результате оползня. Для построения кривой были использованы данные более чем по 40 оползням, которые произошли в течение одного года на двух карьерах Райчихинского месторождения бурого угля. На рис. 4 две кривые от двух карьеров и они по конфигурации повторяют друг друга, что подтверждает выдвинутое положение о единобразии деформационного процесса. Полученные кривые характеризуют процесс разрушения уступов, и могут быть названы кривыми разрушения по аналогии с S – образной кривой разрушения, полученной в ИГД СО РАН на основе спектральных характеристик сигналов электромагнитных излучений (ЭМИ) скальных пород [3], возникающих при их трещинообразовании и разрушении.

Кривая разрушения отражает динамический процесс разрушения ус-

тупа оползнем. Выполненные построения показывают, что в формировании разрушения, как вертикальная отражающая граница, принимает участие массив горных пород на расстоянии 17 м от нулевой линии. Энергетически насыщенные, упроченные уровни К являются также отражающими границами.

Введение нового понятия – энергетические уровни – позволяет сравнивать между собой различные проявления деформационного процесса согласно значениям энергетических уровней. Такой подход позволил сравнить между собой графические материалы, констатирующие характер изменения различных петрофизических свойств гранитоидного массива [4], и показать, что вдоль тех же уровней, обозначенных нами на рисунках буквой К, наблюдаются сжимающие деформации, что выражается в уменьшении коэффициентов теплопроводности и флюидопроводимости и в увеличении скоростей упругих волн. Оказалось также, что в окрестности уровней К прослеживаются крупные тектонические зоны, особенно в интервалах 11-13 и 40-42. Если рассматривать внутреннее строение земной коры в целом [5], то на глубине 11 км (уровень 11) на платформах прослеживается высокоскоростной пласт, а на глубине порядка 40 км (уровень 40-41) проходит граница Мохоровичча, отделяющая кору земли от ниже лежащей мантии. И высокоскоростной пласт 11, и нижняя граница земной коры 40-41, являются отражающими границами. Таким образом, построения, выпол-

ненные на рис. 4, где показано, что кривая разрушения формируется путем отражений от упроченных уровней К, находит свое подтверждение на более высоком иерархическом уровне.

Практическое применение кривой разрушения разнообразно, поскольку позволяет распознавать энергетически насыщенные участки К, способные к выбросу энергии, и ослабленные, разуплотненные участки, обладающие пониженной несущей способностью. Рассмотрим, в качестве примера, расположенный в Якутии алмазоносный карьер «Айхал», где был выполнен инструментальный контроль деформаций в прибортовом массиве при отработке залежей запасов [6]. Были пробурены две параллельные скважины, одна – для установки глубинных реперов, другая – для проведения наблюдений с использованием эндоскопа. После массового взрыва (горизонт -265 м), спустя 15 дней, в интервале глубин 27.5 – 30 м произошло скачкообразное смещение на 6мм, а по прошествии еще 15 дней – на 4 мм. В этой же скважине в интервале глубин 0 – 27.5 м не было зафик-

сировано никаких значительных смещений.

Это явление может быть объяснено с помощью кривой разрушения (см. рис. 4). Здесь, в интервале глубин 27–30 м, расположена упроченная энергетически насыщенная зона К₂, в которую массовый взрыв еще подкачал энергию. Избыточная энергия дважды скачкообразно разряжалась с временной пульсацией в 15 дней. (Между двумя критическими фазами Луны новолунием и полнолунием 15 дней). Последующая очистная выемка запасов до отметки +205 м привела к расслоению рудного массива в интервале глубин 20-25 м. (без обрушения приконтурного массива и без образования трещин в верхнем и нижнем откосах). Снова обратимся к кривой разрушения на рис. 4, где видим, что в интервале глубин 20-25 м происходят деформации растяжения, которые и привели к расслоению рудного массива. На горизонтальном уровне 25 растяжение максимально – вся запасенная энергия истрачена на пластические подвижки, поэтому не образуется трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмид И. Давление сыпучего материала на стенку стальной трубы.//Введение в механику скальных пород.- М.: Мир, 1983.- С. 117-121.
2. Демин А.М., Горбачева Н.П., Рулев А.Б. Энергетические уровни и их роль в развитии геодинамических процессов// Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: Труды международной конференции. – Новосибирск, ИГД СО РАН, 2006.- С. 144-148.
3. Яковицкая Г.Е. Прогноз динамических проявлений массива горных пород на основании регистрации сигналов электромагнитного излучения.//Физические про-
- блемы разрушения горных пород. Новосибирск: Наука, 2003.- С. 98-101.
4. Лаверов Н. П. и др. Петрографические свойства гранитоидов Нижнеканского массива// Геология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология.- 2002.- №4.- С.293-310.
5. Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре.-М.: Наука, 2002.- 299 с.
6. Барышников В.Д. Контроль устойчивости прибортового массива в зоне перехода от открытой разработки месторождений к подземной.//Горный журнал.- 2006.- №10.- С.91-94. ГИАБ

Коротко об авторах –

Демин А.М., Горбачева Н.П., Рулев А.Б., Ткачев Г.Г. – Всероссийский институт научной и технической информации РАН, demine2001@mail.ru

