

**УЧЕТ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ СМЕЩЕНИЙ  
НА КОНТУРЕ ВЫРАБОТКИ**

Розроблена методика розрахунку зміщення на контурі підземної виробки з урахуванням випадкового розкиду, параметри якого залежать від розкиду міцності, гірського тиску та опору кріплення.

**THE ACCOUNT OF THE STOCHASTIC FACTORS AT ACCOUNT  
OF DISPLACEMENT ON TUNNEL CONTOUR**

The technique of account of displacement on a contour of underground tunnel is developed in view of casual disorder, which parameters depend on disorder of a fortress, mountain pressure and fastening resistance.

Надежность работы всей шахты в сильной степени определяется устойчивостью подготовительных выработок. Погрешности при расчете конвергенции на контуре горных выработок приводят к значительному ухудшению условий работы шахты. Существует значительное число методик для расчета смещений с учетом разнообразия горно-геологических и горнотехнических условий. Нормативным документом для предрасчета смещений на контуре выработки являются Указания... ВНИМИ.

Следует отметить, что подавляющее число методик предусматривают расчет детерминированной величины смещений кровли, боков или почвы выработки. Это значит, что при заданных исходных условиях, например, глубине разработки, мощности пласта, способе охраны выработки, размерах ее сечения и т.п. существующие методики дают определенную величину смещений на контуре. Однако хорошо известно из практики, что даже в относительно стабильных условиях величина реальной конвергенции на контуре обычной горной выработки претерпевает существенные отклонения от среднего значения в пространстве и во времени. Фактическая величина смещений на контуре подготовительной выработки является величиной случайной и в принципе может быть определена только с заданной вероятностью или достоверностью.

Последнее десятилетие развивается новое научное направление расчета устойчивости горной выработки как системы, которую следует рассматривать как вероятностную модель [1]. Такая система подвержена случайным воздействиям горного давления, а также зависит от случайного распределения прочностных, деформационных свойств массива горных пород и случайной величины отпора крепи. В результате протяженность, на которой выработка сохраняет или теряет устойчивость может быть определена как функция указанных случайных величин. Новый подход по существу произвел прорыв в понимании геомеханических процессов, протекающих в окрестности подготовительной выработки.

В данной статье этот подход получил дальнейшее развитие с точки зрения расчета количественных значений смещений на контуре выработки. Новизна подхода состоит в том, что параметры разброса величин смещений рассматриваются как функции разброса факторов, определяющих как величину этих смещений, так и амплитуду их разброса. В качестве главнейших факторов, оп-

ределяющих стохастическое поведение контура выработки выделены прочность массива, отпор крепи, а также величина горного давления. Существует значительно число второстепенных факторов, таких как способ проходки выработки, качество крепления и забутовки и др., однако эти факторы могут быть в первом приближении учтены косвенно через учет первых трех, например через разброс величины отпора крепи.

Прежде всего нами был проведен более подробный анализ распределения разброса механических свойств пород и установлено, что как предел прочности на растяжение, так и на одноосное сжатие распределены не по нормальному закону. На рис. 1 приведен пример обобщения результатов анализ прочности на сжатие осадочных пород. График распределения отчетливо показывает, что мода прочности смещена в сторону меньших значений, а само распределение вытянуто в сторону высоких значений прочности. Статистический анализ данного распределения показал, что оно подчиняется гамма-распределению. Физический смысл такого эффекта, по-видимому, заключается в том, что механическое поле напряжений отбирает наиболее слабые направления, вдоль которых разрушение участка массива горных пород наименее энергоемко. Поэтому даже при симметричном распределении микропрочности породы макрохарактеристика этой прочности будет смещена в сторону меньших значений, что обусловило несимметричность распределения в целом.

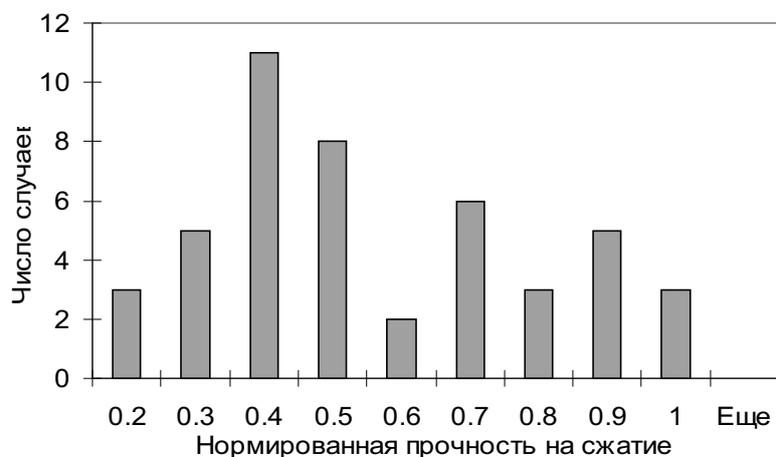


Рис. 1 – Распределение прочности породы в локализованном месте горного массива по результатам массовых испытаний

Достаточно достоверно доказано, что в силу случайного изменения деформационных свойств горного массива и его микронеоднородности напряжения в пространстве распределены неравномерно. Основное внимание исследователи уделили неравномерности соотношений компонент напряжений, при которой значительный акцент ставится на превышении горизонтальной составляющей над вертикальной. Нужно отметить, что направление и величина горизонтальной составляющей все-таки подчиняется региональным процессам, протекающим в земной коре. В связи с этим ориентация и величина указанной компо-

ненты напряжений может быть определены детерминированно. Меньшее внимание уделялось случайному отклонению уровня горного давления на малой базе, соизмеримой с размером горной выработки. Эти колебания вызывают разные деформации и степень разрушения на контуре выработки буквально в соседних сечениях выработки.

На рис. 2 показано распределение вертикальной компоненты горного давления в нетронутым массиве на глубине 500 м в пределах одного месторождения по данным [2].

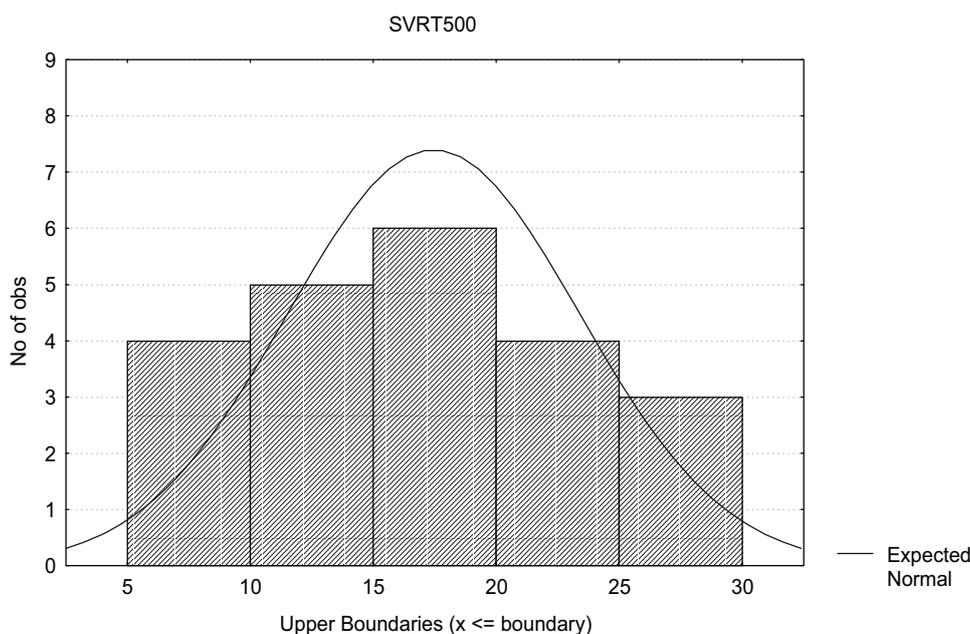


Рис. 2 – Распределение вертикальной компоненты горного давления в МПа на глубине 500м в локализованной зоне горного массива

В целом мода распределения совпадает с геостатическим уровнем давления, однако на малых глубинах распределение несимметрично и вытянуто в сторону больших величин. С ростом глубины распределение становится все более симметричным и напоминает нормальное. Важно, что разброс величин горного давления почти в 2 раза больше среднего значения. Ясно, что такой разброс не может быть объяснен только точностью измерений, а следует учитывать природную его закономерность.

Результаты исследований [1] свидетельствуют о том, что распределение величины отпора рамных арочных крепей по длине выработки при прочих равных условиях подчиняются нормальному распределению. При среднем уровне отпора податливой рамной крепи 175 кН, разброс величины отпора составляет от 0 до 350 кН. Это значит, что диапазон разброса больше средней величины отпора в два раза.

Модифицированный метод расчета смещений на контуре выработки с учетом стохастичности заключается в следующем. Вначале ведется расчет детерминированной величины смещений согласно известным методикам, применяемым

на сегодня. Полученные смещения рассматривают как моду неизвестного пока распределения. Затем определяют характер и параметры разброса смещений. Эти величины являются функцией распределений прочности, горного давления и отпора крепи, которые рассмотрены выше. С достаточной для практики точностью можно эти три величины рассматривать как независимые. Поэтому параметры разброса смещений определяются по известной зависимости через частные производные функции смещений и дисперсии исходных распределений трех вышеуказанных факторов.

На рис. 3 показан пример расчета смещений на контуре подготовительной выработки в условиях шахты Краснолиманская с учетом вычисленного разброса, пример которого нанесен пунктирной линией на графике сближений боков выработки на 10-м месяце существования выработки. Как видим, разброс в данном случае достигает от +18 до – 22 мм. Это значит, что в данном месте выработки на заданный момент времени могут быть измерены любые величины конвергенции из указанного диапазона смещений. При этом величина смещений 80 мм будет лишь наиболее вероятна.

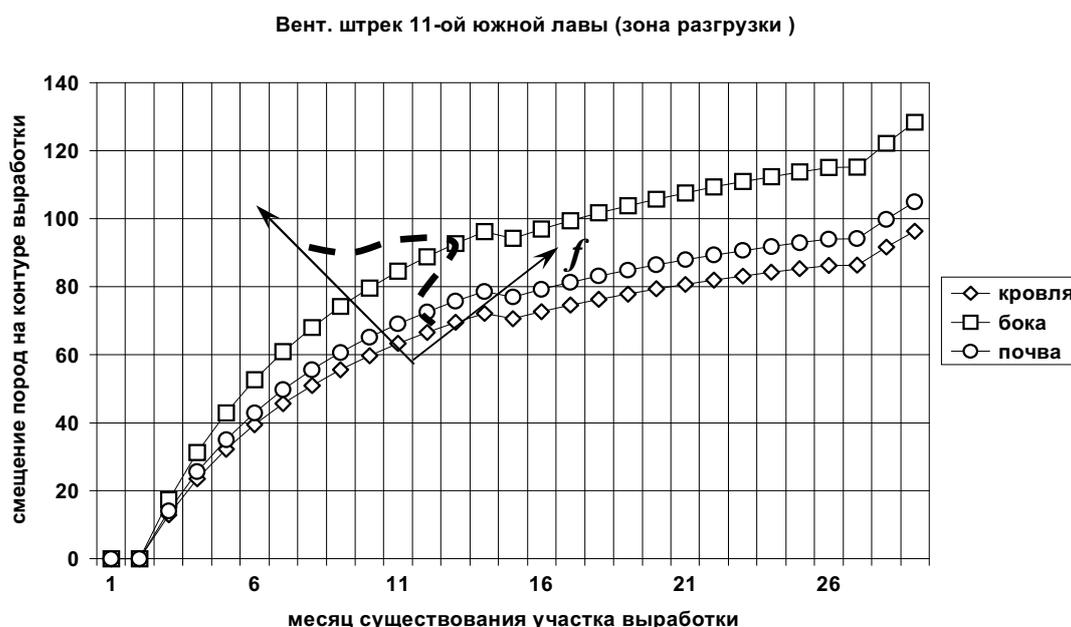


Рис 3 – Смещение пород на контуре выработки (зона разгрузки)

Разработанный метод расчета смещений дает возможность существенно повысить достоверность расчетов, что гарантирует надежность проектных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. - К.: Техника, 1994. - 216 с.
2. Arjang B.; Herget G. In situ ground stresses in the canadian hardrock mines: an update / Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 34:3–4, Paper No. 015