

раметры, при которых выработка сохраняет необходимое поперечное сечение с сохранением целостности зоны уплотненных пород в почве.

**Выводы.** В результате выполнения экспериментов на моделях из эквивалентных материалов получены рациональные параметры способа повышения устойчивости выработки, находящейся в условиях пучащих пород шахты «Комсомолец Донбасса». По результатам лабораторных испытаний установлено, что использование способа с разделением разрыхленной зоны на участки с различным коэффициентом разрыхления снижает величину вертикальной конвергенции за счет ограничения вертикальных перемещений пород почвы.

Для разработки рекомендаций по повышению устойчивости капитальных выработок необходимо проведение исследований напряженного состояния в окрестностях выработки с использованием численных методов.

© Рязанцев А.П., 2005

УДК 624.131.23/3

Инженеры АРТЕМЕНКО Т.К., БЫЧКОВ С.А., МАРТЫНЕНКО С.В. (НГУ, Днепропетровск)

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЧЕРЕЗ ИХ РАЗРУШЕНИЕ

Как известно, при освоении недр, гражданском и промышленном строительстве прочность и разрушение глинистых грунтов и горных пород имеют актуальное значение. Глинистые грунты и горные породы чаще рассматриваются сплошными средами с линейными деформациями от внешних нагрузок без учета поверхностных явлений, происходящих при взаимодействии их с водой (водными растворами электролитов) и газами.

Первой воспринимает все воздействия на грунты и породы вода, являясь активационным фактором с аномальными свойствами, хорошим растворителем различных минералов и газов, особенно с ростом давления от веса столба вышележащих толщ. В естественных условиях все процессы в грунтах и породах направлены к равновесию систем, когда все активные центры, удерживающие молекулы воды и газов, скомпенсированы, а свободная энергия их равна нулю.

Давление  $P$ , приложенное к грунтовой массе, частично передается на скелет грунта (эффективное давление  $P_3$ ) и частично на воду (нейтральное давление  $P_n$ ). Можно считать, что в начальный момент вся нагрузка передается на воду и  $P_n = P$ , а  $P_3 = 0$ .

В воде создается напор, под влиянием которого она выжимается из грунта, и часть нагрузки передается скелету, а нейтральное давление уменьшается. При этом для любой глубины  $Z$  остается соотношение  $P_n + P_3 = P$ . В конце процесса консолидации вся нагрузка воспринимается скелетом грунта  $P_3 = P$ , а  $P_n = 0$ . Напор в воде снижается до нуля, а процесс фильтрационной консолидации завершается.

Увлажнение грунтов и пород сопровождается теплотой смачивания-набухания, что проявляется в выделении 340 Дж/г (или 81 кал/г) при поглощении одного грамма воды. Это позволяет рассматривать процессы в глинистых грунтах и породах энергетически с использованием коллоидной химии, физикохимии, термодинамики, понятия о структуре воды, особенностей водородных связей (ВС) между

молекулами воды. При таком подходе можно взглянуть гораздо шире, дать объяснение большинству протекающих процессов, в том числе прочности и разрушения подобных сред, а также решать на строгой научной основе проблемы пучения выбросов, оползнеобразования, выпоров, сплывов и сдвижения.

Глинистые грунты и породы являются аморфными системами, где вода и газы играют одну из важнейших ролей в их энергетике, изменении физико-химико-механических свойств под влиянием различных факторов, связанных с аномальным поведением ВС.

Первым обратил внимание на особое значение воды академик В.И.Вернадский [1]. Он рассматривал «выветривающиеся горные породы как тела, у которых каркасом является сложнейшее переплетение водных пленок», а заполнителем считал «минеральную массу и газообразные вещества». Свойства каркаса породы, т.е. свойство пленочной воды определяется природой заполнителя, и далее «нет природного тела, которое могло сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов. Под влиянием свойственных воде молекулярных сил, ее парообразного состояния, вездесущности в верхней части планеты ею проникнуто и охвачено».

В порах и трещинах грунтов и пород структура воды и газа образует «жидкий лед» с квазикристаллическим строением, имеет промежуточное положение между водой и льдом. С приближением к равновесному состоянию влаги аморфность грунтов и пород нарастает, что связано с увеличением пробега, совершаемым движением и осуществлением обмена между молекулами воды, газа, т.е. энтропийностью. Неупорядоченность системы нарастает, приближаясь к своему максимуму. В результате грунты и породы в зависимости от увлажнения изменяют свою прочность в широких пределах, между влажностью и прочностью существует обратно пропорциональная зависимость. Это позволяет по изменению равновесных влажностей определять прочность грунтов и пород.

Применяемые в настоящее время испытания на сдвиг, одноосное и трехосное сжатие грунтов не в полной мере соответствуют условиям разрушения грунтов и пород в массивах. Это связано с разгрузкой и метастабильностью среды в результате пройденной выработки, способа отбора, подготовки образцов и методики испытания, что особенно проявляется с глубиной, т.е. ростом давления от веса столба вышележащих слоев пород.

Распределение давления  $P$  по глубине в глинистых грунтах и породах при равновесных влажностях и данных величинах внешних нагрузок подчиняется закону Паскаля, или иначе еще называют «Бочка Паскаля».

$$P = gH\gamma_r S,$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести;  $H$  — высота столба грунта или породы над площадкой  $S$ ;  $\gamma_r$  — плотность водонасыщенного грунта или породы;  $S$  — удельная площадка на рассматриваемой глубине.

По своим физическим свойствам глинистые грунты и породы при равновесных влажностях ведут себя, как вязкие жидкости, где внешняя нагрузка полностью воспринимается пленками воды. С уменьшением влажности грунтов и пород происходит наоборот: внешняя нагрузка, которая больше передается на твердую фазу частиц, грунтопородомассив приобретает свойства твердых тел.

Действие закона Паскаля проявляется своим следствием, заключающимся в том, что в приконтурной зоне выработки в породах и грунтах наблюдается возраста-

ние давления в движущейся поровой воде во столько раз, во сколько ее сечение меньше сечения, нарушенного ею породного массива.

Допустим, что на сечение выработки  $S_1$  и сечение нарушенного ею породного массива  $S_2$  действуют соответственно силы  $F_1$  и  $F_2$ . Давление на сечение выработки будет равно  $\frac{F_1}{S_1}$ , а на сечение нарушенного выработкой породного массива —  $\frac{F_2}{S_2}$ .

По закону Паскаля давление во всех точках покоящейся жидкообразной грунтопородной массы одинаковое, т.е.  $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ , откуда  $F_1 = \frac{F_2 \cdot S_1}{S_2}$  — т.е. получаем то, о чем

было сказано выше.

Движущиеся флюиды в порах и трещинах околоконтурной части выработки испытывают сжатие и растяжение, что сопровождается их разрывом с выделением пузырьков газа. Связано это с резким спадом давления насыщенного пара воды и газа до атмосферного в результате пройденной выработки.

Пузырьки газов мгновенно схлопываются, создавая микрогидравлические удары в виде мириады уколов с огромной силой, вызывая кавитацию. Согласно расчетам Релея при спаде пузырьков развиваются давления в несколько десятков тысяч атмосфер, что приводит к высокой активности молекул воды и переходу грунтов и пород в квазиразжиженному состоянию. В работе [2] развитие процесса кавитации в активируемой системе вызывает возникновение давления в жидкой фазе около 300 МПа и локальному температурному всплеску до 6000 К за время 40 мкс. Возникающий микрогидравлический удар ускоряет процесс диссоциации молекул. Кавитация приводит к пентизации агрегатов и частиц грунта и породы.

Совокупность вышеописанных процессов и особенно кавитационного воздействия на структуру водных растворов, грунта и пород приводит к пентизации, диспергированию агрегатов и частиц. Исследования проводились на глинах и суглинках, являющихся продуктами выветривания аргиллитов, алевролитов и песчаников. Основываясь на законе соответственных состояний и адекватности взаимодействия воды и газов с поверхностью глинистых частиц грунтов и пород: аргиллитов, алевролитов, песчаников, соли позволяет рассматривать их свойства совместно, дополняя друг друга с учетом природных внешних нагрузок и соответственно равновесных влажностей [3].

Аргиллиты, алевролиты, песчаники в верхней части земли, особенно на дневной поверхности быстро переходят в глинистые грунты, представленные в виде склоновых и оползневых накоплений. В них интенсивно проявляется набухание, усадка, оползни с выпорами и сплывами, а в горных породах при вскрытии выработками — пучение, пережимы пластов, выбросы и сдвиги, вызванные вышеописанными явлениями. Для различных глинистых грунтов устанавливаются одинаковые потенциалы давлений при одних и тех же нагрузках, что свидетельствует об однообразном характере структурных связей, основанных на энергетических барьерах водородных связей между молекулами воды.

Важнейшим вопросом теории прочности являются критерии разрушения, предложено их несколько и подразделяются они на силовые, деформационные и энергетические. Последние основываются на оценке работы деформирования. Кинетику же разрушения условно можно разделить на два процесса-периода.

Первый характеризуется объемными упруго-пластичными деформациями и переходом от одного к другому равновесному состоянию без разрыва сплошности

среды и образования трещин. К ним относятся набухание, усадка, выдавливание грунтовой массы, пластичные изменения формы под действием собственного веса. В горных породах — пучение, сдвигание, пережимы пластов, выдавливание [5]. За критерий деформации первого периода следует принять равенство нормальных ( $gH\gamma_r \cdot \cos 45^\circ$ ) и касательных ( $gH\gamma_r \cdot \sin 45^\circ$ ) деформаций при действии соответственно одинаковых напряжений и соблюдении следующего условия:  $gH\gamma_r \cdot \sin 45^\circ = gH\gamma_r \cdot \cos 45^\circ = gH\gamma_r \cdot 0,707$ .

Энергетически этот процесс можно представить как равенство деформирования и восстановления микрообъемов аморфной среды или разрыва и восстановления ВС между молекулами воды.

Второй период разрушения проявляется в образовании скрытых и видимых трещин в грунтопородомассиве, развивающихся с нарастающей скоростью до образования оползней с плоскостью сдвига, вывора, сплывов в глинистых грунтах, вывалов и выбросов в горных породах. Энергетически второй период разрушения характеризуется компенсированием накопленной потенциальной свободной энергии, проявляющимся при снятии внешней нагрузки в результате пройденной выработки.

Для практических целей предупреждение развития процессов второго периода за начало принимается первый период, связанный с упруго-пластическими деформациями, которые служат критерием начала разрушения.

Таким образом, прочность и разрушение грунтов и пород основаны на физико-химико-механических процессах через потенциалы давления энергетических барьеров водородных связей между молекулами воды, которые устанавливаются в соответствии с величинами внешних нагрузок и совокупности явлений по закону Паскаля, следствием из этого закона, активацией молекул воды при кавитации, вызванной схлопыванием пузырьков в воде.

### Библиографический список

1. Вернадский В.И. История природных вод. — Л.: Госхимиздат, 1933, вып. 1.
2. Ультразвуковая технология / Под ред. Аграната Б.А. — М.: Металлургия, 1974. — 504 с.
3. Артеменко Т.К. Применение термодинамики влаги и газов в углях, породах, соли к их выбросам в шахтах // Науковий вісник НГА України, 1999. — №6. — С. 8–10.
4. Бычков С.А., Артеменко Т.К. Новое о природе оползней, пучении, выбросах в глинистых грунтах и горных породах // Будівельні конструкції. Вип. 54. — Київ: НДІБК, 2001. — С. 132–135.

© Артеменко Т.К., Бычков С.А., Мартыненко С.В., 2005

УДК 622.235+662.24+536.46

Канд. техн. наук КАЛЯКИН С.А. (МакНИИ), докт. техн. наук ШЕВЦОВ Н.Р. (ДонНТУ)

## О СПОНТАННОМ ПЕРЕХОДЕ ИНГИБИТОРА РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА В СОСТАВЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ВВ В ИНЕРТНОЕ СОСТОЯНИЕ

В угольных шахтах, опасных по газу или пыли, взрывные работы связаны с повышенной опасностью, которая обусловлена высокой вероятностью образования взрывчатой атмосферы в призабойном участке горных выработок. Поэтому к применению в этих условиях допущены только предохранительные ВВ, которые отличаются от предохранительных более низкой способностью воспламенять взрывчатые