

УДК 622.257.1

П.Н. Должиков А.А. Шубин**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ВЫВАЛООБРАЗОВАНИЙ В ВЫРАБОТКАХ ШАХТ
ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА***Показаны основные этапы формирования провала гидроактивизированной зоны массива.**Ключевые слова: горная порода, вывал, горная выработка.*

Изучение процесса деформирования песчано-глинистых пород над горными выработками показало, что возможны два варианта развития деформаций — развивающийся с образованием провала и стабилизирующийся с образованием зоны проседания поверхности. Для изучения наибольший интерес представляет первый вариант. Это объясняется, во-первых, влиянием развивающихся деформаций грунта на аварийное состояние поверхностных зданий и сооружений. Во-вторых, в результате образования провалов в породном массиве образуются техногенные пустоты.

К активизирующим факторам образования провалов относится подто-

пление породного массива, образования зон разуплотнения и микротрещин скольжения. Это означает, что в таких механических системах действуют напряжения сжатия и срезающие напряжения. При этом гидроактивизация глинистого грунта приводит к прогрессирующему разрушению за счет развития скорости и ускорения ползучести. В результате обводнения происходит снижение прочности грунта, но провал развивается как эффект ползучести, т.е. развития скорости деформации больше некоторого определенного предела, поэтому через некоторый промежуток времени наступает разрушение грунта.

Анализ геометрических параметров образовавшихся провалов показывает, что практически все они имеют воронку конической формы, характеризующихся глубиной и характерным диаметром течения, расположенном в нижней части провала (рис. 1).

Процесс развития провала характеризуется скоростью деформирования грунта и временем, через которое образуется провал.

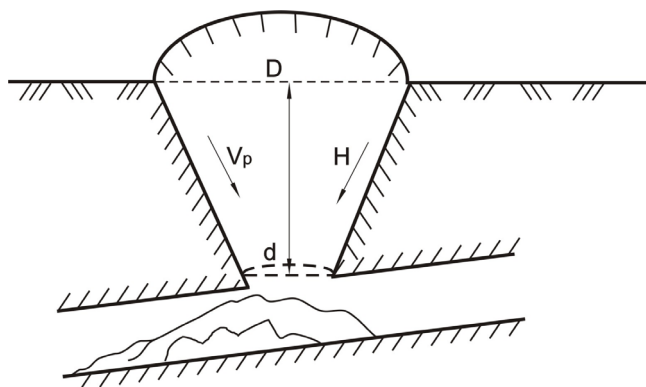


Рис. 1. Схема провала грунта над горной выработкой

Рассмотрим данный процесс с энергетической точки зрения. Известно, что каждая деформируемая система (грунт) обладает скрытой энергией деформации. Прямых способов определения скрытой энергии деформации не существует [1]. Однако, известно, что она зависит от условий, степени, скорости деформирования, температуры системы и т.д.

Количество скрытой энергии деформации растет с ростом работы деформации. Скрытая энергия деформации может быть определена как разность работы деформации и выделившегося тепла. В процессе деформирования грунта происходит выделение тепла в результате преодоления сопротивления сил трения в зависимости от величины сил торможения [2].

Согласно первому закону термодинамики

$$U_{\text{вн}} = U_{\text{м}} + U_{\text{т}},$$

где $U_{\text{вн}}$ — внешняя механическая работа; $U_{\text{м}}$ — величина механической работы, поглощаемой материалом; $U_{\text{т}}$ — количество выделившегося тепла.

Обозначим: A — работа деформации, Q — количество выделившегося тепла, тогда скрытая энергия деформации равна

$$U_{\text{СК}} = A - Q.$$

Отсюда объясняются вышеупомянутые два варианта развития деформаций. Если трение в грунте невелико (силы торможения малы), скорость деформации большая (причем увеличивающаяся), а в тепло переходит малая часть работы деформации, то скрытая энергия деформации получается значительной и положительной и мы имеем случай образования провала, т.е.

$$U_{\text{СК}} = A - Q > 0.$$

Гидроактивизация грунтовой системы приводит к еще меньшим силам межчастичного трения, поэтому скрытая энергия деформации практически вся переходит в работу деформации, т.е.

$$U_{\text{СК}} \approx A.$$

Если же трение в грунте велико, то скорость деформации относительно мала, выделяется много тепла, поэтому

$$A - Q = U_{\text{СК}} < 0,$$

т.е. скрытая энергия деформации имеет дефицит, и мы имеем торможение деформаций ползучести и стабилизирующееся состояние грунта.

Также необходимо отметить, что наличие стадии прогрессирующего разрушения непосредственно связано со снижением прочности грунта, т.е. его разуплотнение и обводнение, а также с наличием дефектов структуры грунта на поверхности разрушения, приводящие к развитию микротрещин. Прогрессирующее течение наступает всякий раз, когда приложенной внешней нагрузкой исчерпана прочность глинистого грунта. Однако в результате дисперсности глинистого материала имеет место запаздывание проявления деформаций вслед за распространением напряжений. В процессе пластической деформации глинистого грунта в местах структурной неоднородности возникают локальные перенапряжения и образуются локальный разрыв. Причем этот эффект вызывает образование новых трещин и дает прогрессирующее разрушение с образованием полос Людерса.

В зависимости от соотношения количества освобождающейся упругой энергии при росте трещин и

Таблица 1

Время образования провалов

№	Влажность, д.ед	Плотность, г/см ³	Время до образования провала, час	Скорость деформации, 10 ⁻³ $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$
1	0,4	1,41	0,24	115
2	0,3	1,52	0,37	107
3	0,2	1,72	0,5	80
4	0,2	1,73	1,0	49
5	0,2	1,72	12,5	4,5
6	0,2	1,70	22	2,6

поглощения ее при образовании новых процесс разрушения грунта происходит с различной продолжительностью.

Практические наблюдения за формированием провалов на различных горнотехнических объектах показали четкую обратную зависимость времени формирования провала от скорости деформации грунта. Для примерно однотипных геологических условий в табл. 1 приведено время формирования провалов.

По результатам этих измерений построен график зависимости средней скорости деформации грунта от времени образования провала в логарифмическом масштабе (рис. 2).

В первом приближении получена

прямая линия, уравнение которой представляется в виде

$$\lg t_p = C - k \lg v. \quad (1)$$

Значения постоянных коэффициентов C и k зависят от конкретных условий деформаций и свойств грунта. Как следует из приведенных данных, уравнение (1) может быть записано в виде:

$$\lg t_p = 0,24 - 0,97 \lg v.$$

Или после преобразований:

$$t_p = 1,72 / v^{0,97}.$$

Таким образом, в общем виде имеет место зависимость.

$$t_p = \frac{A}{v^k} \text{ или}$$

$$t_p v^k = \text{const}.$$

Анализируя размерности в уравнении приходим к выводу, что постоянная A должна содержать некоторый геометрический параметр.

Поэтому введем безразмерный критерий разрушения грунта, характеризующий процесс ползучести



Рис. 2. Зависимость средней скорости деформации грунта от времени формирования провала

$$\frac{t_p v}{d} = K_p,$$

где d — характерный диаметр течения грунта в самой узкой части.

Введенный критерий разрушения грунта представляет собой реологическое число, превышение которого указывает на устойчивое состояние грунта. Причем в критерии разрушения сочетаются кинематические ($\bar{v}$) и геометрические (d) параметры течения грунта.

Для гидроактивизированного породного массива существенное влияние на ползучесть оказывает влажность горных пород. Поэтому критерий разрушения должен включать в себя их влажность:

$$K_p = \frac{t_p v}{dW}.$$

Рассмотрим теперь определение скорости ползучести глинистого грунта на определенный момент времени v_t . По его значению можно вычислить величину критерия разрушения и сделать вывод о характере деформирования грунта во времени: неравенство $K_{pt} > K_p$ свидетельствует об устойчивом состоянии грунта и затухающем характере ползучести.

Если в некоторый момент времени t_0 , прошедший от начала процесса, известно значение скорости дефор-

мирования v_0 , то исходя из общей линейно-логарифмической зависимости (1), можно записать, что скорость ползучести v_t равна

$$v_t = v_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-m},$$

где m — число, определяемое из зависимости $\lg v = f(\lg t)$ и равное тангенсу угла наклона прямой:

$$m = \frac{\lg v_0 - \lg v_t}{\lg t - \lg t_0}.$$

Таким образом, зная значение критического числа разрушения для данного вида грунта, необходимо составить неравенство, описывающее процесс ползучести на определенный момент времени и сделать вывод о характере деформирования, например, для образования провала необходимо выполнение условия:

$$\frac{t \cdot v_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{-m}}{W \cdot d} = K_{pt} < K_p.$$

Для установления фактических значений критического числа разрушения, показателей состояния грунта и условий образования провалов необходимо проведение серии экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабужев П.М., Геронимус В.Б. Теории подобия и размерностей. М.: Высш. школа, 1968. — 208 с.

2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. — М.: Недра, 1974. — 296 с. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Должиков П.Н. — Донбасский государственный технический университет,
Шубин А.А. — Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), siurgtu@siurgtu.ru