ВНИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК И ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАГРУЗОК НА ОГРАДИТЕЛЬНУЮ КРЕПЬ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ГРУНТОВОГО МАССИВА И УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ

МОСКВА–1988

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК И ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАГРУЗОК НА ОГРАДИТЕЛЬНУЮ КРЕПЬ С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ГРУНТОВОГО МАССИВА И УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ

МОСКВА–1988

УДК 624.I2:622.83

В рекомендациях изложены основные положения статистической методики оценки устойчивости подземных выработок и определения нагрузок на оградительную крепь. В расчетах учитываются параметры случайной неоднородности прочностных характеристик грунтового массива и уровень надежности, а также обычные геотехнические данные (глубина заложения, пролет выработки и т.д.). Кратко сформулированы основные принципы и расчетные положения, выписаны формулы, по которым ведутся вычисления. Указаны исходные данные, вводимые в ЭВМ для расчетов, и показан порядок анализа результатов расчетов для построения нарушенных зон в окрестности выработки. Приведены примеры расчетов.

Описываемая методика реализована в виде программы для ЭВМ серий ЕС и СМ на языке ФОРТРАН-IУ, хранящейся в НИИ оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова.

Рекомендации разработаны докт.техн.наук В.И.Шейнины, кандидатами техн.наук Н.С.Четыркиным, Э.Ф.Риккертом и инж.М.Б.Богдановой.

Рекомендации одобрены секцией "Механика грунтов" Научно-технического совета института.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных организаций.

Замечания и предложения по рекомендациям просьба направлять по адресу: I09389, Москва, 2-я Институтская ул.,6, ВНИИОСП имени Н.М.Герсеванова.

© Ордена Трудового Красного Знамени Всесоюзный научно-исследовательский проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, I988

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Предлагаемая методика расчета применима к выработкам, пройденным в скальных грунтах любой крепости на глубинах, где средний уровень действующих на контуре выработки нормальных тангенциальных напряжений $\bar{\sigma}_t$ не более чем в 2,5 раза превышает среднюю прочность пород в массиве $\bar{R}_c$, т.е. $\alpha = \bar{\sigma}_t / \bar{R}_c = 0{,}5 \div 2{,}5$.

I.2. При необходимости установки крепи предполагается, что ее конструкция или технология возведения позволяют не учитывать влияние крепи на напряженно-деформированное состояние массива, т.е. предполагается работа крепи в режиме заданной нагрузки. Это могут быть различного типа временные обделки, обеспечивающие безопасность подземных работ на период до возведения постоянной крепи, например обделки, сооружаемые из монолитного неармированного бетона с помощью щита-опалубки практически у самого забоя выработки [1].

I.3. Один из развиваемых в последнее время подходов к оценке устойчивости выработок и решению вопроса о выборе типа и конструкции крепи основан на выявлении с учетом как действующих в массиве напряжений, так и его прочностных характеристик, границ зон предельного равновесия или зон нарушенных пород, возникающих вблизи выработки после ее проведения [2,3 и др.].

Как правило, в предлагаемых методиках в нарушенную зону включаются только те точки массива, где непосредственно выполнено условие локального разрушения:

$$\mathcal{K} \leq 0, \qquad (I)$$

например условие Кулона-Мора.

I.4. Методика, разработанная во ВНИИОСП им.Н.М.Герсеванова, основана на построении границ нарушенных зон по осредненным значениям параметра неразрушимости (I), причем локальный критерий разрушения не обязательно должен выполняться в каждой точке этой зоны.

Этот способ, при использовании которого удается ограничиться теми же, что и обычно, доступными исходными данными, дает оправдываемое наблюдениями увеличение расчетных размеров нарушенных зон по сравнению с получаемыми по п.I.3, тем самым позволяя учесть ряд механических эффектов, имеющих место в массиве при образовании областей предельного равновесия [3]. Вместе с тем использование ука-

занного "интегрального" способа значительно расширяет возможности практического применения вероятностного подхода к оценке устойчивости подземных выработок.

I.5. В условиях плоской деформации вблизи точки M на контуре выработки с координатой S', где в ортогональной системе координат (S,t) контур выработки имеет уравнение $t=0$, область Ω, имеющая размеры по контуру u и по нормали к нему v и ограниченная координатными линиями ($S=S'-u/2$; $S=S'+u/2$; $t=0$; $t=v$), относится к нарушенной зоне, если выполнено интегральное условие:

$$f_{u,v}(S)=\frac{1}{F_\Omega}\int_{S'-u/2}^{S'+u/2}\int_0^v f(s,t)\,t\,ds\,dt<0, \qquad (2)$$

где F_Ω – площадь области Ω;
$f(s,t)$ – условие разрушения (I).

I.6. В качестве условия локального разрушения используется условие Кулона–Мора с прямолинейной огибающей наибольших кругов напряжений, записанное в виде

$$f(s,t)=R_c(s,t)-\sigma_1+\sigma_2(1+\sin\varphi)/(1-\sin\varphi)<0, \qquad (3)$$

где $R_c(s,t)$, φ – прочность пород на одноосное сжатие в точке массива и угол внутреннего трения грунта;

σ_1, σ_2 $(\sigma_1\geq\sigma_2)$ – главные напряжения в точке массива. В записи (3) не учитывается изменчивость φ вследствие ее малости по сравнению с изменчивостью R_c.

I.7. Граница нарушенной зоны определяется как огибающая множества областей Ω_i с различными значениями u_i, v_i, по которым выполняется условие (2). Правомерность построения такой огибающей, следующая, к тому же, из формулировки условия (2), обоснована в [4] на примере построения нарушенных областей по конкретной реализации поля прочности массива около выработки, полученной математическим моделированием.

I.8. Методика позволяет учесть неоднородность прочностных свойств массива и наличие случайно распределенной в массиве трещиноватости, а также заданный уровень надежности.

2. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

2.1. Вследствие пространственной случайной изменчивости механических характеристик массива число нарушенных зон и их размеры случайным образом изменяются от одного сечения к другому. Учет этих факторов производится анализом поведения случайной функции $\chi(S,t)$ и семейства функций $\chi_{u,v}(S)$, задаваемых своими вероятностными характеристиками.

2.2. Надежность выработки $P_н\{A\}$ определяется [5] как вероятность того, что в окрестности выработки не образуется ни одной нарушенной зоны, размеры которой удовлетворяют некоторому условию $\{A\}$. Конкретный вид этого условия зависит от рассматриваемой инженерной задачи.

2.3. Соответствующая этой надежности вероятность $P_-\{A\}$ того, что в окрестности выработки появится хотя бы одна область с размерами, удовлетворяющими условию $\{A\}$, определяется выражением

$$P_-\{A\} = 1 - P_н\{A\}, \qquad (4)$$

т.е. устойчивость выработки обеспечена, если в ее окрестности могут появиться вывалы с размерами, удовлетворяющими условию $\{A\}$ только с вероятностью, меньшей некоторого допустимого малого уровня

$$P_-\{A\} < P_{-расч}, \qquad (5)$$

где $P_{-расч}$ связано с заданным расчетным уровнем надежности: $P_{-расч} = 1 - P_{нрасч}$. Для сравнительных оценок состояния подземных выработок можно в настоящее время за основной принять уровень $P_{нрасч} = 0{,}99$, варьируя его в зависимости от опасности наступления предельного состояния. В работе [6] такой же средний уровень надежности рекомендуется и для других геотехнических систем. Физически вероятность $P_-\{A\}$ трактуется следующим образом: она равна относительной частоте встречи таких сечений вдоль выработки или средней относительной части рассматриваемой длины выработки, где реализуется указанное условие $\{A\}$.

2.4. Области разрушения появляются, когда функция $\chi_{u,v}(S)$, характеризующая состояние массива, оказывается меньше нуля, и число нарушенных зон $\{A\}$ соответствует так называемому числу выбро-

сов этой функции ниже нулевого уровня [7].

2.5. Следуя известному подходу к анализу надежности механических систем [5], можно показать, что

$$\bar{N}\{A\} \geq P_{-}\{A\} \quad , \tag{6}$$

где $\bar{N}\{A\}$ – среднее число нарушенных зон.

В наиболее важном диапазоне изменения вероятности $P_{-} \ll 1$, т.е. когда размеры нарушенных зон близки к предельным, оказывается возможным практически оценивать величины $P_{-}\{A\}$ путем более простых и доступных вычислений $\bar{N}\{A\}$:

$$P_{-}\{A\} = 1 - \exp(-\bar{N}\{A\}) \approx \bar{N}\{A\} . \tag{7}$$

2.6. Методика расчета предусматривает вычисление математических ожиданий (средних значений) $\bar{N}_{\ell,h}(u,v)$ числа нарушенных зон на контуре выработки с размерами по контуру сечения выработки ℓ и по нормали к нему h, удовлетворяющими условию $\{A\}:\{\ell \geq u, h \geq v\}$, причем в качестве v принимается осредненная по длине высота зоны.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

3.1. Основные горнотехнические показатели

3.1.1. Средняя прочность пород на одноосное сжатие по образцам $\bar{R}_c^*$, МПа.

3.1.2. Угол внутреннего трения грунта φ, град.

3.1.3. Удельный вес пород γ, кН/м^3.

3.1.4. Коэффициент бокового давления λ в ненарушенном массиве; при этом предполагается, что на контуре выработки среднее значение нормальных тангенциальных напряжений постоянно и равно $\sigma_t = (1+\lambda)\gamma H$.

3.1.5. Глубина заложения выработки H, м.

Если задано конкретное значение H, то при вводе исходных данных в ЭВМ записывается $\dot{H} = H$; если вводится $H = 0$, то происходит автоматический перебор вариантов для последовательности глубин, зависящих от заданного ряда значений параметра $\alpha = \bar{\sigma}_t / \bar{R}_c$; α=0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5.

3.1.6. Эквивалентный радиус выработки R, м.

Если R задан, то вводится $R^* = R$. Если вводится $R^* = 0$, то про-

изводится перебор вариантов для заданной последовательности значений R = 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10 м.

3.1.7. Среднее значение коэффициента структурного ослабления $\bar{\delta}$ для трещиноватого скального массива.

Примечание. Вместо величин $\bar{R}_c^*$ и $\bar{\delta}$ может также вводиться средняя прочность в массиве $\bar{R}_c = \bar{R}_c^* \cdot \bar{\delta}$.

3.1.8. Безразмерный параметр T_H, равный относительной части длины контура выработки, учитываемой в расчете.

Величины п.3.1 являются общепринятыми в геомеханических расчетах.

3.2. Количественные параметры пространственной изменчивости случайных факторов

Как показали результаты, приведенные в [8], для относительных глубин заложения выработки $\alpha > 0{,}5$ влияние неровностей реального контура и изменчивости деформационных характеристик пород можно не учитывать, а основное внимание следует уделять определению вероятностных характеристик разрушений, связанных с неоднородностью прочностных свойств пород в массиве.

3.2.1. Коэффициент изменчивости $v_{\bar{R}_c}$ и структурный показатель $\alpha_{\bar{R}_c}$, м$^{-1}$, характеризующие основную крупномасштабную составляющую неоднородности массива.

3.2.2. Значения v_{Δ_c}, $\alpha_{\Delta_c} = 1/l_o$, м$^{-1}$, для быстроосциллирующей добавки Δ_c, соответствующей хаотическому разбросу данных испытаний; l_o – характерный размер испытанного объема породы.

3.2.3. Коэффициент изменчивости v_δ и показатель α_δ, м$^{-1}$, характеризующие неоднородность трещиноватости по коэффициенту структурного ослабления.

3.3. Статистические параметры определяются путем обработки построенных по фактическим экспериментальным данным реализаций соответствующих случайных функций. Примеры такой обработки построены во ВНИИОСПе [9,10], а также в других организациях [11,12] по аналогичным методикам.

3.4. Для определения параметров пространственной изменчивости механических свойств массива могут быть использованы результаты косвенных геофизических наблюдений [13].

Значения указанных параметров могут назначаться также приближенно с использованием соответствующих значений, полученных для аналогичных горно-геологических условий.

3.6. В случаях, когда $\alpha = \bar{\sigma}_t / \bar{R}_c \leq 0{,}5$, следует учитывать изменчивость деформационных характеристик массива и неоднородности реального контура поперечного сечения выработки. Методика такого учета и соответствующие программы расчетов на ЭВМ также разработаны во ВНИИОСПе им.Н.М.Герсеванова.

4. ВЫЧИСЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ЧИСЛА НАРУШЕННЫХ ЗОН С ЗАДАННЫМИ МИНИМАЛЬНЫМИ РАЗМЕРАМИ ПО КОНТУРУ ВЫРАБОТКИ И ПО НОРМАЛИ К НЕМУ

4.1. Случайная функция $f(s,t)$ описывается как стационарная по s. Выполняемое при расчетах осреднение этой функции, вследствие уменьшения влияния изменчивости $f(s,t)$ по s, делает предположение о стационарности $f_{u,v}(s)$ еще более обоснованным. Строго стационарной $f(s,t)$ будет только при круговом контуре выработки и гидростатическом начальном напряженном состоянии, так как кратчайшее расстояние τ между двумя точками контура при любой другой его форме будет зависеть от их расположения на контуре. Однако если в пределах контура или его сводовой части на длине интервала корреляции ρ входящих в $f(s,t)$ случайных функций можно пренебречь изменением кривизны контура, то с достаточной точностью можно считать функцию $f(s,t)$ стационарной [14]. Это утверждение наиболее справедливо для выработок, имеющих форму поперечного сечения, или хотя бы его сводовой части, близкую к оптимальной [15], на которой нормальные тангенциальные напряжения σ_t постоянны и равны $\sigma_t = (1+\lambda)\gamma H$.

4.2. Среднее число нарушенных областей $\bar{N}_{\ell,k}(u,v)$, размеры которых удовлетворяют соотношениям ($\ell \geq u$, $k \geq v$), соответствует числу участков контура, где случайная функция $f_{u,v}(s) \leq 0$, или, следуя принятой терминологии [7], числу выбросов этой случайной функции ниже нулевого уровня на отрезке контура длиной T, и вычисляется по формуле:

$$\bar{N}_{\ell,k}(u,v) = \frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{-\ddot{K}_{f_{u,v}}(\tau)}{K_{f_{u,v}}}\Big|_{\tau=0}} \cdot \exp\left[-\frac{(\bar{f}_{u,v})^2}{2D_{f_{u,v}}}\right], \quad (8)$$

где $\ddot{K}_{f_{u,v}}(\tau)$ – вторая производная корреляционной функции $K_{f_{u,v}}(\tau)$ случайной функции $f_{u,v}(s)$;

$\bar{f}_{u,v}$, $D_{f_{u,v}}$ – среднее значение и дисперсия функции $f_{u,v}(s)$.

4.3. Вследствие учета только изменчивости значений R_c корре-

ляционная функция $K_f(\tau, t)$ совпадает с $K_{R_c}(\tau, t)$, а среднее значение функции $f_{u,v}(s)$ равно

$$\overline{f}_{u,v} = \overline{R}_c - \frac{\overline{\sigma}_t}{1-\sin\varphi}\left[\frac{R}{R+v} - \sin\varphi\right]. \qquad (9)$$

4.4. Для вычисления других характеристик случайной функции приняты еще два упрощения:

а) область Ω $\left(s'-u/2 \le s \le s'+u/2\ ;\ 0 \le t \le v\right)$ рассматривается как прямоугольник;

б) вместо обычно принимаемого стандартного вида корреляционной функции $K(\tau) = D\exp(-\alpha\cdot|\tau|)$ используется другой стандартный вид $K(\tau) = D\exp(-\beta^2\cdot\tau^2)$, при этом $\beta = \alpha\sqrt{\pi}/2$, так что интервалы корреляции ρ, определяемые как

$$\rho = \int_0^\infty \tau K(\tau)\,d\tau \Big/ \int_0^\infty K(\tau)\,d\tau\ , \qquad (10)$$

оказываются равными для обоих видов $K(\tau)$.

Формулы для остальных характеристик $N_{\ell,k}(u,v)$ примут вид:

$$K_{f_{u,v}}(\tau)\Big|_{\tau=0} = D_{f_{u,v}} = \frac{2}{u^2}\int_0^u (u-\tau)\,K_v(\tau)\,d\tau; \qquad (11)$$

$$\ddot{K}_{f_{u,v}}(\tau)\Big|_{\tau=0} = -\frac{2}{u^2}\left[K_v(0) - K_v(u)\right], \qquad (12)$$

где $$K_v(\tau) = \frac{1}{v}\int_0^v (v-t)\,K_{R_c}(\tau, t)\,dt\ .$$

4.5. Расчетная аппроксимация для K_{R_c} имеет вид:

$$K_{R_c}(\tau) = D_{R_c}\cdot e^{-\beta_{R_c}^2\tau^2} + D_{\Delta_c}\cdot e^{-\beta_{\Delta_c}^2\tau^2} + D_\delta\cdot e^{-\beta_\delta^2\tau^2}\ , \qquad (13)$$

где τ – расстояние между точками в плоскости.

4.6. Формулы (11)–(12) с учетом (13) будут:

$$D_{f_{u,v}} = D_{R_c}\cdot G(\beta_{R_c}u)\cdot G(\beta_{R_c}v) + \qquad (14)$$

$$+ D_{\Delta_c}\cdot G(\beta_{\Delta_c}u)\cdot G(\beta_{\Delta_c}v) + D_\delta\cdot G(\beta_\delta u)\cdot G(\beta_\delta v)\ ;$$

$$-\bar{K}_{\xi_{u,v}}(\tau)\Big|_{\tau=0} = \frac{2}{u^2}\left\{D_{\ell_c}\cdot\left(1-e^{-\beta_{\ell_c}^2 u^2}\right)\cdot G(\beta_{\ell_c} v) + \right.$$
$$\left. + D_{\Delta_c}\left(1-e^{-\beta_{\Delta_c}^2 u^2}\right)\cdot G(\beta_{\Delta_c} v) + D_\delta\left(1-e^{-\beta_\delta^2 u^2}\right)\cdot G(\beta_\delta v)\right\}, \qquad (15)$$

где $$G(z) = \frac{1}{z^2}\left[\sqrt{\pi}\cdot z\cdot erf(z) - \left(1-e^{-z^2}\right)\right]. \qquad (16)$$

функция $erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\cdot\int_0^z e^{-t^2}dt$ – интеграл вероятностей или функция ошибок, вычисляемая с использованием специальной аппроксимации [16].

4.7. Дисперсии в формулах (13)–(15) вычисляются следующим образом:

$$D_{\ell_c} = (\bar{R}_c^*\cdot\bar{v}_{\ell_c})^2;\ D_{\Delta_c} = (\bar{R}_c^*\cdot\bar{v}_{\Delta_c})^2;\ D_\delta = (\bar{\delta}\cdot\bar{v}_\delta)^2. \qquad (17)$$

5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИИ И РАЗМЕРОВ НАРУШЕННЫХ ЗОН В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ ПРИ ЗАДАННОМ УРОВНЕ НАДЕЖНОСТИ

5.1. В соответствии с изложенной в п.2 вероятностной постановкой задачи требуется определить такие геометрические параметры зон нарушенных пород, что реализация условия $\{A\}$, т.е. образование на контуре выработки хотя бы одной зоны с недопустимыми размерами, возможна с вероятностью, меньшей заданной.

5.2. На основе (7) составляется и решается относительно искомых параметров зон уравнение

$$P_-\{A\} = \bar{N}\{A\} \approx P_{-расч}. \qquad (18)$$

5.3. Одному и тому же уровню надежности может соответствовать появление в окрестности выработки одной нарушенной зоны максимально больших размеров, или двух с меньшими размерами, или трех с еще меньшими размерами и т.д. В работе [19] показано, что предельные при данном $P_{-расч}$ размеры зон резко падают с увеличением их расчетного числа, и наиболее опасным следует считать образование одной нарушенной зоны максимальных размеров.

5.4. Граница зоны нарушенных пород строится следующим образом: при каждом значении вероятности $P_{-расч}$ определяется множество соответствующих этому уровню равновероятных нарушенных областей с размерами вдоль контура $\ell = u$ и по нормали к нему $h = v$, таких,

что, согласно (I8)

$$P\{N(l \geq u, h \geq v) > 0\} = P_{расч} \approx \bar{N}_{l,h}(u, v). \quad (I9)$$

5.5. Значения высот v_i определяются как корень уравнения (I9) при фиксированных u_i для каждого значения $P_{расч}$ из заданного ряда $P_{расч}$= 0,I; 0,05; 0,0I; 0,005; 0,00I. Значения u_i последовательно возрастают от 0,5 м с шагом Δu = 0,5 м до достижения длины рассматриваемой части контура $T = T_н \cdot \pi R$. В результате в ортогональной системе координат (s,t) имеется набор пар точек с координатами ($s' - u/2$; v_i), ($s' + u/2$, v_i).

5.6. При бесконечно малом шаге Δu будем иметь непрерывную кривую с этими координатами ее точек, огибающую множество "прямоугольных" областей. Практически для построения такой огибающей, принимаемой в качестве границы зоны нарушенных пород, достаточно иметь точки с шагом Δu = 0,5 м.

5.7. Геометрические параметры зон нарушенных пород могут использоваться для сравнительной оценки состояния выработок в различных горно-геологических условиях, а также для оценки нагрузок на временные крепи.

5.8. Если в результате проходки выработки буровзрывным способом в массиве вблизи от контура выработки образуется сплошная зона разрушенных пород, то расчетная эпюра нагрузки определяется суммарным воздействием этой зоны и навала, определяемого по описанной методике.

6. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I.

Разработанная методика использована для оценки нагрузок на временную крепь автодорожного тоннеля, пройденного в скальных грунтах.

Обычные горнотехнические показатели (п.3.I) приняты по результатам инженерно-геологических изысканий: $\bar{R}_c$ = 35 МПа, $\varphi = 30^0$, λ =I, γ = 25 кН/м^3, эквивалентный радиус сводовой части выработки R = = 5,25 м. Глубина заложения для рассматриваемого участка выработки изменялась в пределах H = I40÷250 м.

Количественные параметры изменчивости прочностных свойств принимаются с учетом соответствующих данных для аналогичных инженерно-

геологических условий. Поскольку в данном случае не проводилось их экспериментального определения, то значения количественных показателей неоднородности приняты наихудшими в реальном диапазоне их изменения для рассматриваемого участка тоннеля: $\nu_{\xi_c} = 0,26$, $\alpha_{\xi_c}=0,5 м^{-1}$ $\nu_{\Delta_c}=0,12$, $\alpha_{\Delta_c}=10\ м^{-1}$, $\nu_\xi=0,10$, $\alpha_\xi=2,5\ м^{-1}$.

На рис.1 представлено поперечное сечение тоннеля и очертания возможных вывалов для уровня вероятности $P_- = 0,01$ и ряда глубин его заложения. Вычисленные таким образом параметры нарушенных зон, приведенные в табл.1, можно использовать для оценки эпюры нагрузки на временную крепь в рамках схемы крепи на заданную нагрузку. Нес-

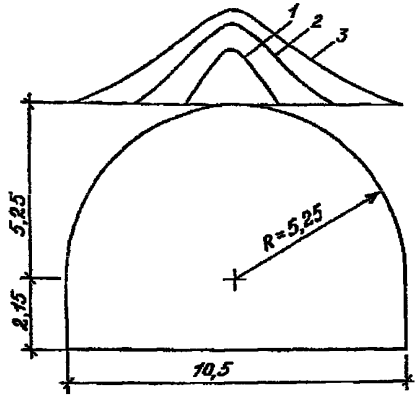

Рис.1. Сечение автодорожного тоннеля и очертания зон нарушенных пород для $P_- = 0,01$ и глубин заложения 140, 280 и 420 м (кривые 1,2,3)

мотря на упрощенность такой схемы, в настоящее время она достаточно широко применяется в проектной практике и научных исследованиях, поскольку позволяет оценивать размеры этих зон "сверху", обеспечивая определенный запас прочности [17].

Для оценки результатов, получаемых по статистической методике, будем сравнивать параметры таких зон с теми, которые получаются по действующим нормам проектирования. Для приведенного примера высота свода обрушения по СНиП 2.06.09-84 [18], по которой определяется

Таблица I. Параметры нарушенных зон

Длина нарушенной области по контуру u, м	Проекция длины на горизонталь, м	Высота области v, м, по нормали к контуру для уровней вероятности P_-		
		$P_- = 0,05$	$P_- = 0,01$	$P_- = 0,005$
0,5	0,5	0,33/I,36	I,62/2,4I	2,I8/2,82
I,0	I,0	0/I,I5	I,33/2,24	I,94/2,66
I,5	I,49	0/0,99	I,06/2,07	I,69/2,49
2,0	I,99	0/0,80	0,74/I,87	I,38/2,28
2,5	2,48	0/0,6I	0,38/I,65	I,0I/2,05
3,0	2,96	0/0,4I	0,05/I,40	0,6I/I,80
4,0	3,90	0/0,05	0/0,92	0/I,29
5,0	4,8I	–	0/0,5I	0/0,85
6,0	5,68	–	0/0,I9	0/0,48
7,0	6,49	–	–	0/0,I9
8,0	7,25	–	–	–

Примечание. В числителе приведены высоты для глубины I40 м, в знаменателе – для глубины 280 м.

интенсивность вертикального равномерно распределенного давления g_{qzn}, при расчетном коэффициенте крепости $f_{кр.} = \bar{R}_c/10 = 3,5$ равна h_q = I,87 м. Результаты определения расчетной нагрузки P_z по СНиП 2.06.09-84 с коэффициентом надежности γ_f = I,5, а также по предлагаемой методике, которая так же, как и в СНиП 2.06.09-84 определялась по максимальной высоте зоны нарушенных пород, сведены в табл.2.

Таблица 2. Оценки горного давления, кН/м^2

Глубина H, м	По методике СНиП 2.06.09-84	По статистической методике		
		$P_- = 0,05$	$P_- = 0,01$	$P_- = 0,005$
I40	70,2(I0,5)	8,3(I,0)	40,5(3,44)	54,5(3,90)
280	70,2(I0,5)	34,0(4,0)	60,5(6,40)	70,5(7,25)

Примечание. В скобках приведена длина, м, эпюры нагрузки по пролету тоннеля.

Из табл.2 видно, что для рассматриваемых глубин H =140–280 м в широком диапазоне изменения расчетного уровня надежности $P_н$ =0,95 ÷ 0,995 прогнозируемые по статистической методике нагрузки оказываются меньше, чем определяемые по СНиП 2.06.09–84. Так, на глубине H =140 м и ρ =0,01 значение p_z оказывается в 1,73 раза, а на глубине H =280 м – в 1,6 раза меньше по сравнению с нагрузкой по СНиП 2.06.09–84. Только для очень высокого уровня надежности $P_н$ = =0,995 на глубине 280 м эти значения практически совпадают.

Следует отметить также, что вывалы по статистической методике для рассмотренных условий распределены не по всему пролету выработки, как это дает СНиП 2.06.09–84, а только на его части, которая составляет 0,1–0,7 от пролета. Это обстоятельство также приводит к уменьшению расчетной интенсивности воздействия вывала на крепь.

Определенное таким образом вертикальное давление позволяет обосновать применение на этом участке тоннеля в качестве временной монолитную бетонную крепь (без арматуры), устраиваемую с помощью щита-опалубки. Применение такой крепи более экономично по сравнению с арочной металлической. Накопленный опыт строительства тоннелей в аналогичных горнотехнических условиях показывает, что такая крепь успешно эксплуатируется. Нагрузки, определяемые по СНиП 2.06.09–84 и не зависящие от глубины залежения выработки, таковы, что монолитная бетонная крепь не обеспечивает прочность и устойчивость выработки.

Пример 2.

Строительный тоннель пройден на глубине 240–300 м в массиве, для которого $\overline{R}_c$ =15 МПа, γ =25 кН/м^3, φ =30°, а показатели неоднородности можно принять по аналогии из примера 1. На рис.2 приведено сечение тоннеля и очертания возможных вывалов для ρ =0,01 и глубин 240 и 300 м, а в табл.3 – геометрические параметры нарушенных зон для глубины H =300 м (d =1).

Таблица 3. Параметры возможных вывалов для строительного тоннеля

Длина нарушенной области по контуру u, м	Проекция длины на горизонталь, м	Высота области v, м, по нормали к контуру для уровней вероятности		
		ρ =0,05	ρ =0,01	ρ =0,005
0,5	0,5	6,26	7,04	7,34
1,0	1,0	6,00	6,78	7,09

Продолжение таблицы

Длина нарушенной области по контуру $\mathcal{L}$, м	Проекция длины на горизонталь, м	Высота области $\mathcal{V}$, м, по нормали к контуру для уровней вероятности		
		P =0,05	P =0,01	P =0,005
2,0	2,0	5,52	6,39	6,58
4,0	3,98	4,76	5,50	5,72
6,0	5,95	4,12	4,81	5,03
8,0	7,86	3,63	4,29	4,47
10,0	9,74	3,30	3,92	4,05
14,0	13,27	2,77	3,37	3,45
18,0	16,46	2,40	2,74	3,01
22,0	19,05	2,15	2,28	2,68
26,0	21,20	1,84	1,96	2,35
28,0	22,00	1,62	1,80	2,18

Высота свода обрушения по СНиП 2.06.09-84 равна $h_{\mathcal{V}}$ =9,3 м, т.е. значительно больше, чем по статистической методике, применение которой позволяет в этом случае принять более экономичное решение.

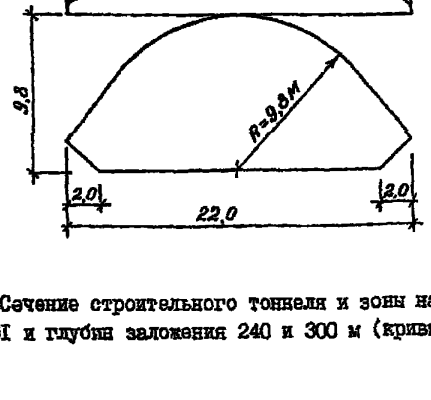

Рис.2. Сечение строительного тоннеля и зоны нарушенных пород для P = 0,01 и глубин заложения 240 и 300 м (кривые 1,2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Бикинеев М.Г., Мальцев Б.Д. Применение монолитной бетонной временной крепи в гидротехнических туннелях.- Гидротехническое строительство, 1984, № 8.

2. Булычев Н.С. О критериях устойчивости окружающих выработку пород. - В кн.: Устойчивость и крепление горных выработок. Л., Изд-во ЛГИ, 1976, вып.3.

3. Шейнин В.И. Способ оценки размеров нарушенных зон в окрестности выработок *по осредненным значениям "параметра неразрушимости"*. - Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1978, № 4.

4. Риккерт Э.Ф. Разработка методики определения зон нарушенных пород для оценки устойчивости выработок в статистически неоднородном грунтовом массиве. - Автореф.канд.дис.М., НИИ оснований и подземных сооружений, 1986.

5. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений.М., Стройиздат, 1982.

6. Simons H. Statistics, reliability theory and safety factors.-"Meas.Sel. and Use Des. Parameters Geotechn. Eng. Proc. 7-th Eur. Conf. Soil Mech. and Found. Eng., Brighton, Sept. 1979, Vol.4." London, 1979, pp.81-90.

7. Тихонов В.И. Выбросы случайных процессов.М., Наука, 1970.

8. Риккерт Э.Ф., Четыркин Н.С., Шейнин В.И. Использование статистического подхода для оценки влияния геомеханических факторов на устойчивость массива в окрестности подземных выработок.- Труды ин-та/НИИ оснований и подземных сооружений, М., 1984,вып.82.

9. Шейнин В.И., Руппенейт К.В. Некоторые статистические задачи расчета подземных сооружений. М., Недра, 1969.

10. Шейнин В.И., Лайкова Н.Н., Шашкова И.Л. Статистическое описание профилей стенок горных выработок по результатам натурных замеров.- Труды ин-та/НИИ оснований и подземных сооружений, М., 1976, вып.68.

11. Рахимов В.Р. О некоторых вопросах анализа результатов массовых механических испытаний.- Труды ин-та/Ташкентский политехнический институт, 1971, вып.66.

12. Ревазк Е.Б., Оловянный А.Г. К вопросу статистической обработки измерений рельефа породных стенок и набрызг-бетонной крепи

вертикальных шахтных стволов. Л., ВНИМИ, 1973 (Рукопись депонирована в ЦНИИЭуголь в 1973г., № 161).

13. Ямщиков В.С., Тытонник П.М., Блок А.В. Экспериментальное изучение пространственной неоднородности массива вблизи горной выработки методом ультразвукового прозвучивания. – Физико-технические проблемы полезных ископаемых, 1974, № 3.

14. Шейнин В.И. Алгоритмы и программы решения на ЭВМ статистических задач оценки устойчивости горных выработок.–М. НИИОСП, 1979.

15. Шейнин В.И. Учет поля напряжений в массиве при выборе формы сечения выработки – способ борьбы с динамическими разрушениями в ее окрестности. – В кн.: Отражение современных полей напряжений и свойств пород в состоянии скальных массивов. – Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1977.

16. Сборник научных программ на ФОРТРАНЕ, пер. с англ. С.Я. Виленкина. Вып.1, Статистика. М., Статистика, 1974.

17. Ержанов Ж.С., Изаксон В.Ю., Станкус В.М. Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчет устойчивости. Кемерово книжное изд-во, 1976.

18. СНиП 2.06.09-84. Туннели гидротехнические. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1985.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения..... 3
2. Вероятностная постановка задачи..... 5
3. Исходные данные для расчетов..... 6
3.I. Основные горнотехнические показатели..... 6
3.2. Количественные параметры пространственной изменчивости случайных факторов..... 7
4. Вычисление среднего числа нарушенных зон с заданными минимальными размерами по контуру выработки и по нормали к нему..... 8
5. Методика определения конфигурации и размеров нарушенных зон в окрестности выработки при заданном уровне надежности..... I0
6. Примеры расчета..... II
Список литературы I6

Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

Рекомендации по оценке устойчивости подземных выработок и определению нагрузок на оградительную крепь с учетом случайной неоднородности грунтового массива и уровня надежности

Редактор Л.В.Пузанова

Заказ № 947 . Тираж 350 экз.
Формат 60 х 90 1/16. Бумага офсетная. Набор машинописный.
Уч.-изд.л. 1,2. Усл.кр.-отт. 1,45. Цена 30 коп.

gost.e-ecolog.ru

ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
121471, Можайское шоссе, 25