

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

Создана трехмерная модель породного массива, закрепленного анкерной крепью. Выполнен анализ изменения объемного напряженно-деформированного состояния породного массива вследствие установки анкерной крепи. На основе пространственной модели разработана методика расчета параметров крепи. Компоненты объемного напряженного состояния найдены из решения пространственных задач теории упругости. Результаты исследования перераспределения напряжений в породном массиве позволили выделить области с различной степенью упрочнения, установить границы неупрочняемой зоны и области разупрочнения.

В расчете последовательно определяются следующие параметры: напряженное состояние вокруг одиночного анкера и область его влияния; количество взаимно влияющих анкеров; напряженное состояние, вызванное натяжением системы взаимно влияющих анкеров; исходное напряженное состояние вокруг незакрепленной выработки; результирующее поле напряжений; коэффициенты упрочнения в закрепленном пространстве; распределение коэффициента упрочнения; степень упрочнения и эффективность воздействия анкерной крепи. Оптимизация параметров анкерной крепи может дать существенный экономический эффект за счет увеличения срока службы выработок и снижения затрат на установку анкеров.

A three dimensional model of rocks, fixed by anchors. The author analyzed three dimensional tension and deformation condition of rocks due to applying anchors. Parameters of anchor lining are determined by method based on three dimensional model. Determining of tree dimensional was done with using a solving of tree dimensional elastic theory tasks. As result of research we have a bounds of areas with different reinforcement level, a bounds of not reinforcement areas and areas of weakening.

The research consists from following parts: a solving tension condition and area of alone anchor influence, for determining a number of reciprocally influencing anchors; determining tension condition into system of reciprocally influencing anchors; determining an initial tension condition, without anchors; solving an resulting tension field; solving a means of reinforcement coefficient in the space between anchors. After that an analyzing of allocation the reinforcement coefficient was done. At last part was an estimation of reinforcement level in all areas and effectiveness of the anchors applying. The determining of efficient parameters of anchor lining gives as an economical effect due to increasing time of excavation using and decreasing a anchor installing cost.

Использование решений пространственных задач теории упругости позволяет выделить зоны эффективного влияния анкера с учетом воздействия соседних анкеров, анализ поля напряжений вокруг выработки, обусловленного натяжением штанг, – зоны с различной степенью упрочнения. Схема для

расчета напряжений вокруг анкеров замкового типа представлена на рис.1. Исходные данные, принятые для расчета, следующие: глубина проведения выработки 400 м, объемный вес пород $0,027 \text{ кН/м}^3$, приведенный радиус выработки 2 м, коэффициент Пуассона 0,3.

Согласно расчетной схеме найдены компоненты напряжений, возникающих в закрепленном анкерами пространстве: σ_x^1 от силы P_1 с использованием решения задачи Буссинеска для упругого полупространства, σ_x^2 от P_2 при помощи решения Миндлина*. При определении области изменения напряженного состояния, обусловленного натяжением анкера, вес пород в объеме расчетной схемы не учитывался вследствие его незначительного влияния. Анализ распределения компонентов напряжений соответствующих расстоянию до контура выработки 0,5 м (рис.2) показал, что зона влияния анкера в заданных условиях составляет 2,5-3 м.

Для учета влияния соседних анкеров произведена суперпозиция напряжений. Полученный при расчете трехмерный массив M_a значений компонентов напряжений от одного анкера имеет размерность $(h_a/s_h) \times (a/s) \times (a/s)$, где h_a — активная длина анкера (расстояние между точками приложения сил P_1 и P_2 на рис.1); s_h — расстояние между расчетными точками массива по вертикали (вдоль оси z); a — шаг сетки штангования; s — расстояние между расчетными точками по горизонтали (вдоль осей x и y).

Рассчитано поле напряжений в области, ограниченной четырьмя соседними анкерами, при различных параметрах анкерной крепи. Значения напряжений, обусловленных натяжением одного анкера, получены для области $h_a \times a \times a$ (см. рис.1). Массивы M_i значений напряжений от каждого отдельного анкера для указанной области суммируются. Массив $M = \sum M_i$ отражает напряженное состояние массива пород в области $h_a \times a \times a$, обусловленное натяжением четырех соседних анкеров.

Напряженное состояние вокруг незакрепленной выработки определяется при помощи решений плоской задачи теории упругости для изотропной среды**. Значения компонентов напряжений организуются в массив M_0 размерностью $h_a \times a \times a$.

* Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа, 1968.

** Флорин В.А. Основы механики грунтов. М.: Гостройиздат, 1959.

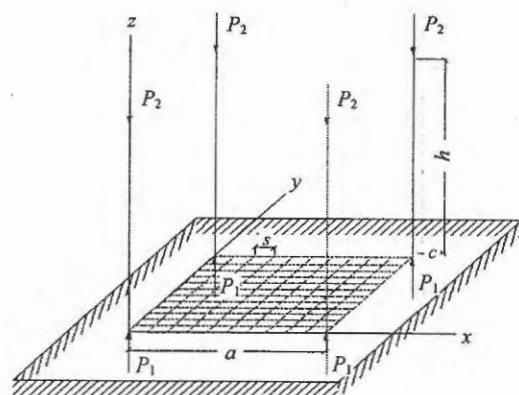


Рис.1. Расчетная схема

P_1 и P_2 — силы, приложенные соответственно на контуре выработки и в точке закрепления анкера в массиве; h — длина анкера; a — расстояние между анкерами; s — шаг расчетной сетки

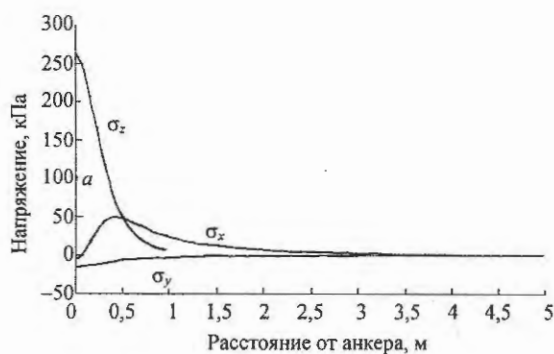


Рис.2. Распределение компонентов напряжений, обусловленных натяжением анкеров, в зависимости от расстояния до анкера

Напряжения в незакрепленном породном массиве суммируются с напряжениями обусловленными натяжением анкеров:

$$\sigma_x^{\text{общ}} = \sigma_x^1 + \sigma_x^2 + \sigma_x^0;$$

$$\sigma_y^{\text{общ}} = \sigma_y^1 + \sigma_y^2 + \sigma_y^0;$$

$$\sigma_z^{\text{общ}} = \sigma_z^1 + \sigma_z^2 + \sigma_z^0.$$

Полученный массив значений $M = M_a + M_0$ отражает напряженное состояние в области $h_a \times a \times a$ после установки анкерной крепи, а поэлементное отношение M_0/M — изменение напряженного состояния после установки крепи по сравнению с начальным.

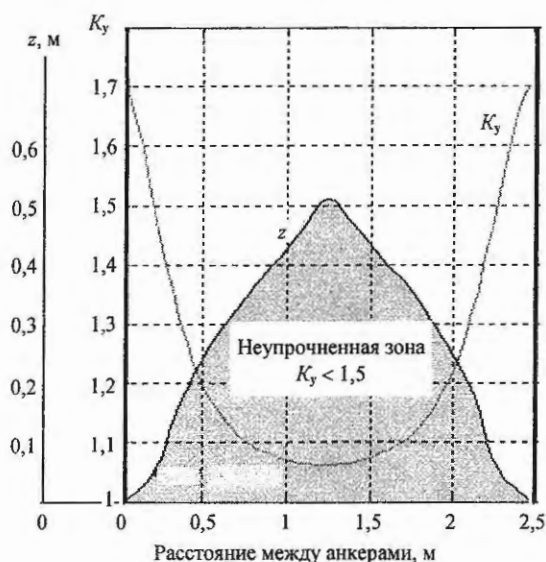


Рис.3. Распределение коэффициента упрочнения в пространстве между анкерами ($a = 2,5$ м, расстояние до контура выработки 0,5 м, сечение проходит через два соседних анкера)

По результирующим напряжениям в расчетных точках произведена количественная оценка упрочняющего эффекта анкерной крепи. Для этого введен коэффициент упрочнения K_y , равный отношению максимальных касательных напряжений для незакрепленной выработки τ_n к касательным напряжениям для выработки, закрепленной анкерной крепью, τ_a . При определении коэффициента упрочнения учитывались напряжения от собственного веса пород. Анализ графика распределения коэффициента упрочнения показывает, что зона эффективного влияния анкеров приблизительно вдвое меньше области изменения распределения напряжения σ_x , что соответствует изменению σ_x на 3-7 %. Максимумы K_y соответствуют изменению σ_z на 30-45 % при практически неизменном σ_x (рис.3).

Эффективность воздействия анкера определяется, исходя из минимальной требуемой степени упрочнения, зависящей от конкретных условий. При установке анкерной крепи имеет место изменение объемного напряженного состояния в приконтурной зоне выработки, вследствие чего происходит упрочнение приконтурной зоны, глав-

ным образом, благодаря уменьшению напряжения σ_x .

В нашем случае область изменения напряженного состояния, обусловленная натяжением одного анкера, 2,5-3 м, зона эффективного влияния анкеров 1-1,15 м при минимальной степени упрочнения (5 %). Соответственно принимается сетка штангования (2,5 м).

На следующем этапе производится оценка результатов по всему объему расчетной схемы. Для этого по значениям компонентов напряжений до установки крепи (массив M_0), напряжений, вызванных натяжением анкеров, (массив M_a) и суммарным напряжениям в закрепленном пространстве вокруг выработки (массив M) вычисляется степень изменения каждого компонента как поэлементное отношение M_0/M для каждого компонента напряжения в закрепленном пространстве. Средние значения коэффициентов изменения напряжений K_{mx} , K_{my} , K_{mz} для различных расстояний от контура выработки z позволяют количественно оценить влияние анкеров на напряженное состояние, определить границы области эффективного воздействия анкеров. Для рассмотренных условий коэффициенты изменения главных напряжений после установки анкеров следующие:

$z, \text{ м}$	0,1	0,4	0,7	1	1,3
K_{mx}	0,915	0,957	0,976	0,985	0,989
K_{my}	0,915	0,957	0,976	0,985	0,989
K_{mz}	1,195	1,115	1,09	1,06	1,05
$z, \text{ м}$	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8
K_{mx}	0,99	0,988	1,005	1,004	1,002
K_{my}	0,99	0,988	1,005	1,004	1,002
K_{mz}	1,06	0,97	0,98	0,987	0,99

Распределение коэффициента упрочнения пород по всему объему закрепленного пространства характеризуют его минимальные, максимальные и средние значения после установки анкерной крепи:

$z, \text{ м}$	0,4	0,7	1	1,3	1,6	2,2	2,5
$K_{y \text{ min}}$	1,3	1,24	1,25	1,283	1,33	0,2	0,35
$K_{y \text{ max}}$	2,2	1,33	1,275	1,325	2,22	1,1	0,8
$K_{y \text{ mean}}$	1,42	1,29	1,27	1,3	1,44	0,87	0,59

Научный руководитель д.т.н. проф. А.Г.Протосеня