ЦНИИС
МИНТРАНССТРОЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОБДЕЛКУ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ, СООРУЖАЕМЫХ В ТРЕЩИНОВАТЫХ СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

МОСКВА 1973

gost.e-ecolog.ru

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОБДЕЛКУ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ, СООРУЖАЕМЫХ В ТРЕЩИНОВАТЫХ СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ

Одобрено Главтранспроектом в
качестве пособия для проектирования

Москва 1973

УДК 622.831

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практическое определение величины нагрузки от давления горных пород вызывает затруднения, поскольку формулы, рекомендуемые для этой цели нормами проектирования тоннелей СНиП II-Д.8-62, приводят к приемлемым результатам лишь в случае сыпучих и связных пород. Между тем на трассе горных тоннелей преобладают скальные породы, устойчивость которых в значительной степени определяется структурой и характером трещиноватости горного массива. В этих условиях результаты определения горного давления по формулам СНиП *не согласуются с фактическими данными.*

Действующие нормы предписывают определять величину нагрузки от горного давления прежде всего на основании натурных данных, а также опыта строительства в аналогичных инженерно-геологических условиях.

С целью систематизации фактических данных о проявлениях горного давления Новосибирским филиалом ЦНИИСа в 1962-1969 гг. проведены натурные исследования горного давления на строительстве ряда тоннелей в районах Сибири и обобщены результаты аналогичных работ, выполненных другими организациями.

В основу настоящих Методических указаний положены результаты проведенных исследований. Авторы работы - канд.техн.наук Б.Е.Славин и инж.В.П.Казаков.

Указания разработаны в развитие СНиП II-Д.8-62, гл.4 "Нагрузки и основные расчетные положения".

Величину и характер действия горного давления рекомендуется определять в зависимости от степени трещиноватости и прочности скальных пород, слагающих горный массив. Нагрузки устанавливаются исходя из расчетной схемы, соответствующей фактическим условиям заложения тоннеля. Все многообразие инженерно-геологических условий сводится к нескольким расчетным схемам действия нагрузок, что способствует типизации конструкции обделки и временной крепи тоннелей.

Директор СибЦНИИСа Б.КОРЯКИН

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические указания распространяются на проектирование обделки и временной крепи тоннелей, сооружаемых в скальных породах прочностью не ниже 200 кгс/см^2 при пролете выработок от 4 до 12 м в условиях сводообразования над выработками.

1.2. Методическими указаниями надлежит руководствоваться при отсутствии данных о величине горного давления, а также при обработке результатов натурных измерений горного давления с целью установления нормативных и расчетных нагрузок. Указания могут также использоваться для определения размеров зоны возможного обрушения пород (местного вывала).

1.3. Определению нагрузок и размеров зоны обрушения должно предшествовать проведение инженерно-геологических изысканий в составе и объеме, предусмотренном действующими "Техническими условиями и инструкцией на производство инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства метрополитенов и горных железнодорожных тоннелей" (Трансжелдориздат, М., 1955).

2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД И СОСТОЯНИЕ ГОРНОГО МАССИВА

2.1. Для определения нагрузок на несущие конструкции и оценки устойчивости выработок необходимо установить объемный вес пород, их крепость, склонность пород к выветриванию и размоканию, а также степень трещиноватости горного массива.

2.2. Объемный вес горной породы устанавливается по результатам взвешивания и измерения объема образцов в состоянии естественной влажности, или по справочным данным.

2.3. Предел прочности скальной породы устанавливается путем механических испытаний образцов кубической или цилиндрической формы на одноосное сжатие. Испытания проводятся по стандартной методике.

2.4. По крепости скальные породы подразде-

ляются на 3 группы: слабые, средней крепости и крепкие. Принадлежность пород к одной из этих групп устанавливается по диаграмме крепости пород в зависимости от глубины заложения выработок и результатов испытания образцов породы на сжатие (рис.1).

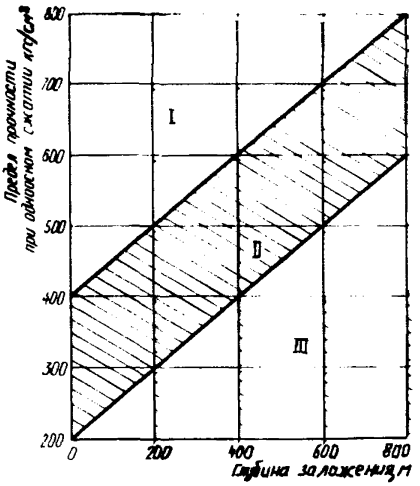

Рис.1. Диаграмма крепости пород:
I - крепкие;
II - средней крепости;
III - слабые

2.5. В тех случаях, когда вследствие длительного хранения (1-2 мес.) образцов породы в воздушной среде существенно снижается их прочность, породы считаются выветриваемыми. Склонность пород к выветриванию определяется путем сравнения результатов испытания "свежих" образцов и образцов длительного хранения. К выветриваемым скальным породам относятся, как правило, аргиллиты, ангидриты, алевролиты и т.п.

2.6. Скальные породы, образцы которых при длительном хранении в воде (1-2 мес.) показывают значительное снижение прочности, относятся к размокаемым. Склонность пород к размоканию устанавливается путем сравнительных испытаний образцов естественной влажности и образцов, находившихся продолжительное время в воде.

2.7. Для оценки степени трещиноватости горного массива необходимо предварительно установить:
- количество систем трещин в массиве;
- относительный модуль трещиноватости массива.

2.8. Под системой трещин подразумевается наличие в массиве контактов породных слоев или других

одинаково ориентированных поверхностей, по которым сцепление породных слоев между собой резко ослаблено.

2.9. При определении количества основных систем трещин следует исходить из двузначной оценки: одна система трещин или более одной системы трещин. При наличии одной системы трещин надлежит также установить, какой угол составляет направление простирания этой системы с осью тоннеля (рис.2).[1]

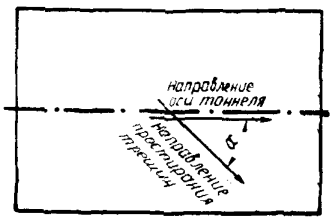

Рис.2.Ориентировка трещин относительно оси тоннеля

2.10. Относительным модулем трещиноватости $B/b_{ср}$ называется отношение величины пролета тоннельной выработки к среднему расстоянию между трещинами данной системы (по нормали к поверхности трещин, как показано на рис.3) или к среднему размеру структурных блоков породы (при наличии более одной системы трещин).

2.11. Горные массивы скальных пород по степени трещиноватости подразделяются на 5 групп: нетрещиноватые, слабо трещиноватые, трещиноватые, сильно трещиноватые и раздробленные. Принадлежность пород к одной из этих групп устанавливается по диаграмме трещиноватости массива в зависимости от количества систем трещин, угла между направлениями оси тоннеля и простирания трещин, а также относительного модуля трещиноватости (рис.4).

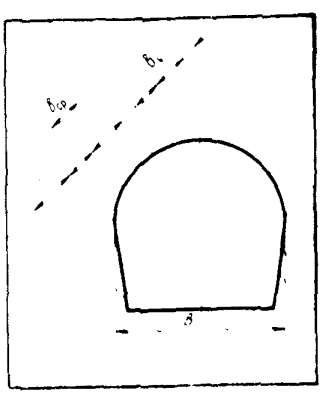

Рис.3. Схема к определению модуля трещиноватости

При наличии в массиве более одной системы трещин для определения степени трещиноватости следует

[1] За направление оси тоннеля принимается направление, при котором искомый угол является острым.

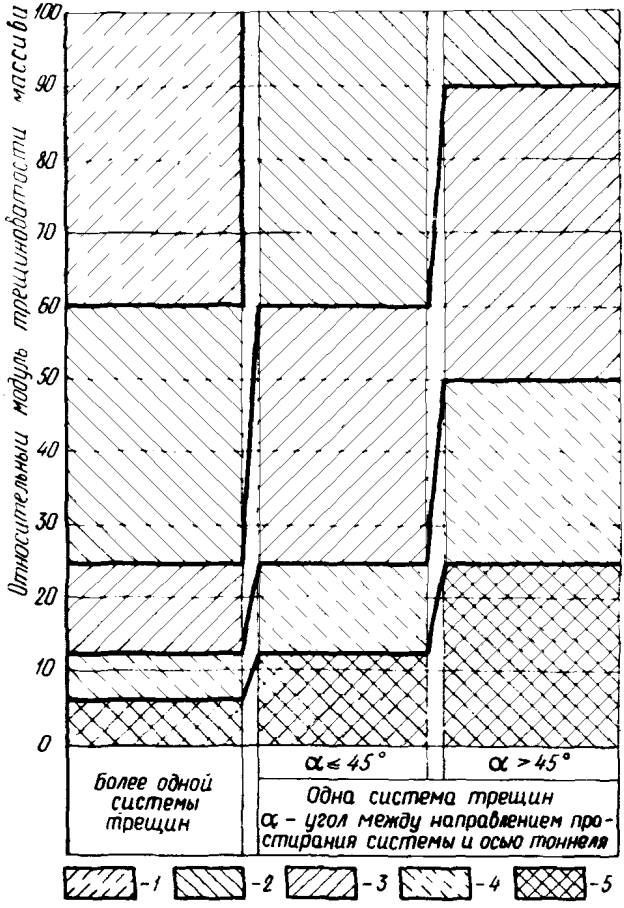

Рис.4.Диаграмма трещиноватости пород:

1 - раздробленные;
2 - сильно трещиноватые;
3 - трещиноватые;
4 - слабо трещиноватые;
5 - нетрещиноватые

пользоваться левым столбцом диаграммы. При наличии одной системы трещин и величине угла между направлениями оси тоннеля и простирания трещин не более 45° используется средний столбец диаграммы. Если указанный угол превышает 45°, степень трещиноватости надлежит определять по правому столбцу диаграммы.

3. ВЫБОР РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК

3.1. В условиях сводообразования над выработками нагрузки на обделку и временную крепь вызываются действием собственного веса пород в объеме зоны обрушения. Вертикальные нагрузки определяются как полный вес пород, обрушающихся в своде, горизонтальные - как составляющая веса пород, обрушающихся со стороны стен выработки и сползающих по напластованию в сторону крепи.

3.2. Расчетная схема действия нагрузок выбирается в зависимости от установленной степени трещиноватости пород (рис.5).

3.3. В нетрещиноватых скальных породах обрушения пород и местных вывалов не происходит, а нагрузка от горного давления отсутствует.

3.4. В слабо трещиноватых породах зона обрушения располагается в своде. На несущие конструкции действует только вертикальная нагрузка, распределенная на части пролета выработки (рис.5,а).

3.5. В трещиноватых и сильно трещиноватых породах зоны обрушения образуются в своде или стенах выработки, либо в своде и стенах одновременно. На обделку и временную крепь действует вертикальное и одностороннее горизонтальное активное давление - каждое в отдельности или совместно (рис.5, б и в).

3.6. В раздробленных породах горное давление проявляется как в сыпучей среде. Вертикальная и горизонтальная нагрузки действуют одновременно (рис.5,г).

3.7. Интенсивность нагрузок вертикальной q и горизонтальной p определяется аналитическим путем (см.гл.4) или по результатам натурных измерений, проводимых в выработках данного объекта (см.гл.5).

3.8. Вертикальная нагрузка распределяется равномерно на части пролета выработки, величина которой

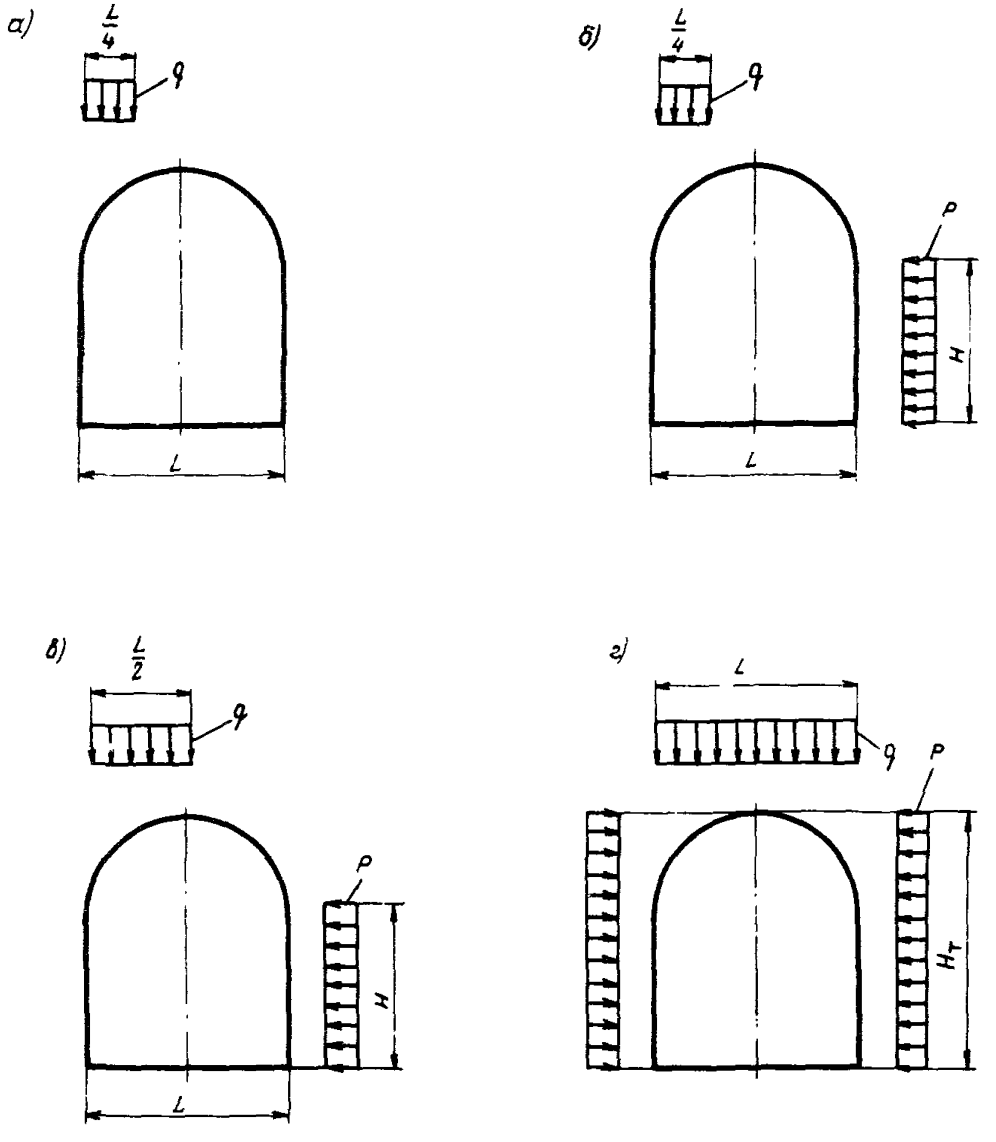

Рис.5. Расчетные схемы действия нагрузок в породах:

а - слабо трещиноватых;
б - трещиноватых;
в - сильно трещиноватых;
г - раздробленных

определяется размером пролета и степенью трещиноватости пород. Вертикальная нагрузка может быть расположена в любой части пролета выработки.

В раздробленных породах вертикальная нагрузка распределена на всем пролете выработки.

3.9. Горизонтальная равномерная нагрузка в трещиноватых и сильно трещиноватых породах действует в пределах стен тоннельной выработки. Участок стены H, на котором приложена горизонтальная нагрузка, при отсутствии четкой границы между сводом и стенами конструкции рекомендуется принимать равным $H = 2/3\,H_т$, где $H_т$ – высота тоннельной выработки.

В раздробленных породах горизонтальная нагрузка распределена по всей высоте выработки.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАГРУЗОК АНАЛИТИЧЕСКИМ ПУТЕМ

4.1. Интенсивность нормативных нагрузок от горного давления определяется по формулам:

$$q_н = 0{,}35\,K_1 K_3 \gamma L;$$

$$p_н = 0{,}19\,K_2 K_3 \gamma H,$$

где $q_н$ – интенсивность вертикальной нормативной нагрузки, тс/м^2;

$p_н$ – интенсивность горизонтальной нормативной нагрузки, тс/м^2;

K_1 – коэффициент, принимаемый для вертикальной нагрузки по табл.1 в зависимости от степени трещиноватости пород и назначения конструкции (постоянная или временная);

K_2 – аналогичный коэффициент для горизонтальной нагрузки, принимаемый по табл.1;

K_3 – коэффициент, принимаемый по табл.1 в зависимости от установленной крепости;

γ – объемный вес породы, тс/м^3;

L – пролет выработки, м;

H – высота стен выработки, м (см.п.3.9).

4.2. Интенсивность расчетных нагрузок от горного давления определяется по формулам:

$$q_р = n_1 q_н;$$
$$p_р = n_2 p_н.$$

где n_1 и n_2 – коэффициенты перегрузки соответственно для вертикальной и горизонтальной нагрузок, принимаемые по табл.2 в зависимости от степени трещиноватости пород.

Таблица 1

	Степень трещиноватости пород			
	слабо трещиноватые	трещиноватые	сильно трещиноватые	раздробленные
K_1: для обделки	1,00	1,71	2,15	3,89
для временной крепи	0,57	1,14	1,43	2,06
K_2: для обделки	–	1,00	1,21	$3,60\frac{L}{H_т}$
для временной крепи	–	0,60	0.72	$1,95\frac{L}{H_т}$
K_3: для невыветриваемых и неразмокаемых пород средней крепости, а также всех видов крепких пород	1,0	1,0	1,0	1,0
для слабых пород, а также выветриваемых и размокаемых пород средней крепости	1,5	1,5	1,5	1,0

Примечание. В выражение коэффициента K_2 для раздробленных пород входит полная высота тоннельной выработки $H_т$.

Таблица 2

Коэффициенты перегрузки	Степень трещиноватости пород			
	слабо-трещиноватые	трещиноватые	сильно-трещиноватые	раздробленные
n_1	1,40	1,35	1,30	1,25
n_2	1,20	1,20	1,20	1,20

4.3. Нормативная и расчетная высота местного вывала или зоны обрушения пород в своде выработки (м) может быть определена по формулам:

$$h_н = \frac{q_н}{\gamma}; \quad h_р = \frac{q_р}{\gamma},$$

где $q_н$ и $q_р$ – нормативная и расчетная интенсивность вертикального горного давления, тс/м^2;

γ – объемный вес породы, тс/м^3.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАГРУЗОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЫРАБОТОК И ИЗМЕРЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПРОЕКТИРУЕМОМ ТОННЕЛЕ

5.1. Обследование выработок производится с целью установления размеров вывалов и обрушений породы, имевших место в своде и стенах выработок.

5.2. К вывалам относятся все виды обрушений породных блоков, при которых зона обрушения выходит за пределы контура выработки, включающего предусмотренный нормами перебор породы.

5.3. В тех случаях, когда вывалы наблюдаются в своде выработки, должны быть зафиксированы следующие размеры вывалов: длина вдоль оси тоннеля, ширина в поперечном направлении, средняя и максимальная высота.

5.4. При обследовании вывалов, образовавшихся в стенах тоннеля, фиксируется объем всего вывала, а также объем вывала на участке тоннеля протяженностью 1 м в месте, где вывал имеет наибольшую глубину. Кроме того, устанавливается угол наклона породного слоя, по которому обрушенная масса сползает в сторону крепи (при отсутствии явно выраженной плоскости скольжения принимается угол естественного откоса породы по СНиП II-Д.8-62).

5.5. Вертикальная нагрузка от горного давления определяется как произведение объема вывала на объемный вес породы.

Горизонтальная нагрузка вычисляется по формуле

$$P_г = P \operatorname{tg} \beta ,$$

где P – вес вывала в стене;

β – угол наклона плоскости сползания вывала к горизонту.

5.6. По результатам измерений каждого вывала вычисляются:

а) средняя нагрузка, приходящаяся на 1 пог.м длины тоннеля;

б) максимальная нагрузка, приходящаяся на 1 пог.м длины тоннеля в месте, где высота (глубина) вывала является наибольшей.

5.7. Для определения интенсивности вертикальной нагрузки необходимо значения нагрузок, приходящихся на 1 пог.м тоннеля и вычисленных согласно указаниям п. 5.6, разделить на величину $L/4$ (в случае слабо трещиноватых и трещиноватых пород), или на величину $L/2$ (в случае сильно трещиноватых пород), или на величину L (в случае раздробленных пород), где L – пролет выработки.

Для каждого вывала вычисляется значение средней и максимальной интенсивности вертикальной нагрузки $q_t^{ср}$ и q_t^{max}.

5.8. Для определения средней и максимальной интенсивности горизонтальной нагрузки $p_t^{ср}$ и p_t^{max} необходимо соответствующие значения горизонтальной составляющей веса вывала, приходящегося на 1 пог.м тоннеля, разделить на величину H (в случае трещиноватых и сильно трещиноватых пород), или на величину $H_т$ (в случае раздробленных пород). Здесь обозначения H и $H_т$ имеют тот же смысл, что и в п. 3.9.

5.9. Значения средней и максимальной интенсивности нагрузок (как вертикальных, так и горизонтальных) могут быть также определены по показаниям специальных приборов, устанавливаемых на элементах несущих конструкций.

5.10. Количество обследуемых вывалов или число сечений тоннеля, в которых устанавливаются измерительные приборы, как правило, должно быть не менее 10-15.

5.11. Средние значения интенсивности вертикальной нагрузки, определенные в соответствии с указаниями пп. 5.7 - 5.9, подвергаются статистической обработке по форме, приведенной в табл.3. Аналогично обрабатываются данные по максимальным значениям интенсивности вертикальной нагрузки, а также данные по средним и максимальным значениям горизонтальной нагрузки.

Таблица 3

№ сечения	Интенсивность нагрузки	Отклонение от среднеарифметического	Квадрат отклонения
1	q_1	$\Delta_1 = q_1 - q_2$	Δ_1^2
2	q_2	$\Delta_2 = q_2 - q_0$	Δ_2^2
•	•	•	•
•	•	•	•
N	q_N	$\Delta_N = q_N - q_0$	Δ_N^2
Всего N сечений	Среднеарифметическое $q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} q_i}{N}$	$\Delta_i = (q_i - q_0)$	Стандарт $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \Delta_i^2}{N-1}}$

5.12. В результате статистической обработки должны быть вычислены среднеарифметическое q_0 и стандарт σ для средней интенсивности вертикальной нагрузки $q^{ср}$, максимальной интенсивности вертикальной нагрузки q^{max}, средней интенсивности горизонтальной нагрузки $p^{ср}$ и максимальной интенсивности горизонтальной нагрузки p^{max}.

5.13. Интенсивность нормативных нагрузок определяется по формулам:

$$q_н = q_c^{ср} + t\sigma^{ср}; \quad p_н = p_o^{ср} + t\sigma^{ср}.$$

5.14. Интенсивность расчетных нагрузок определяется по формулам:

$$q_p = q_0^{max} + t\sigma^{max}; \quad p_p = p_0^{max} + t\sigma^{max}.$$

5.15. Коэффициенты перегрузки определяются по формулам:

$$n_1 = \frac{q_p}{q_н}; \quad n_2 = \frac{p_p}{p_н}.$$

5.16. Коэффициенты t, входящие в формулы п.5.13 и 5.14, принимаются по табл.4 в зависимости от количества сечений N, данные по которым подвергались статистической обработке.

Таблица 4

Вид конструкции	Число сечений					
	3	5	8	11	14	30
Обделка	9,9	4,6	3,5	3,2	3,0	2,8
Временная крепь	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1

Примечание. Для промежуточных значений N коэффициенты t определяются интерполяцией.

6. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО СТАТИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ОБДЕЛКИ

6.1. Нагрузка от давления горных пород включается в сочетание основных нагрузок.

6.2. Расчет обделки производится по одному из методов, принятых в практике проектирования тоннелей.

6.3. Расчет следует производить на электронных вычислительных машинах по программе, предусматривающей возможность реализации расчетных схем с несимметричным расположением нагрузки на пролете и в стенах обделки.

6.4. Наибольший эффект от использования рекомендаций, изложенных в настоящих Методических указаниях (в части снижения размеров и собственного веса несущих конструкций), достигается при учете сцепления обделки с массивом скальных пород.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1.Общие положения.....	4
2.Физико-механические свойства пород и состояние горного массива	4
3.Выбор расчетной схемы действия нагрузок...	8
4.Определение интенсивности нагрузок аналитическим путем.....	10
5.Определение интенсивности нагрузок по результатам обследования выработок и измерения горного давления в проектируемом тоннеле.....	12
6.Общие указания по статическому расчету обделки.....	15

Редактор И.А.Сумбатян
Корректор М.Ф.Шувалова

Подп. к печ. 28/VIII-1972 г.
Заказ 173. Тираж 200 экз.Объем 1,0 п.л.
Ротапринт ЦНИИСа.

gost.e-ecolog.ru