Министерство угольной промышленности СССР
Центральное бюро научно-технической информации

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В УПРОЧНЕННОМ МАССИВЕ

Донецк - 1989

gost.e-ecolog.ru

Рекомендации разработаны в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ Минуглепрома СССР в рамках Целевой комплексной отраслевой программы - Ц150805. Рекомендации составлены в целях совершенствования главы СНиП "Подземные горные выработки".

Изложенные в рекомендациях методы расчета крепи горизонтальных выработок и вертикальных стволов, работающей в упрочненном массиве пород, базируются на принятом в современной механике подземных сооружений принципе взаимодействия крепи и массива [1]. Разработаны методики расчета замкнутой крепи выработок круглого очертания с круговым и эллиптическим очертанием зоны упрочнения, методика расчета замкнутой крепи произвольного очертания и программы расчета для ЕС ЭВМ.

Рекомендации могут быть использованы для определения соответствия параметров принятой крепи горно-техническим условиям упрочненного массива.

При составлении рекомендаций использованы результаты научно-исследовательских работ ТулПИ, Пермского политехнического института, ВНИИОМШСа и ПО "Спецтампонажгеология".

Рекомендации разработаны докторами технических наук Н.С.Булычевым и Н.Н.Фотиевой при участии кандидата технических наук А.С.Саммаля, инженера Ю.И.Климова (разд.3, прил.2) и кандидата технических наук Н.И.Савина (разд.4, прил.3).

Методические рекомендации предназначены для инженерно-технических работников шахтостроительных и углестроительных организаций и проектных институтов.

© ЦБНТИ Минуглепрома СССР, 1989

1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Крепь горных выработок рекомендуется рассчитывать по двум группам предельных состояний: по несущей способности на прочность и в необходимых случаях на устойчивость формы конструкции (первая группа предельных состояний); по деформациям или на трещиностойкость (вторая группа предельных состояний).

Расчет по предельным состояниям первой группы производят только по сжимающим напряжениям.

Расчет конструкций, предельные состояния которых недостаточно изучены, а также конструкций, к которым предъявляются требования трещиностойкости, допускается выполнять по упругой стадии.

1.2. Расчет крепи должен производиться по результатам анализа контактного взаимодействия крепи, упрочненного слоя и массива пород с учетом:

форм и размеров поперечного сечения выработки;

конструкции крепи и особенностей её возведения;

начального поля напряжений в массиве пород;

механических свойств массива пород, в том числе в упрочненной зоне, материала крепи.

1.3. Размеры зоны упрочнения, деформационные, реологические и прочностные характеристики упрочненных пород рекомендуется определять в соответствии с работами [2], [3], а для условий Донбасса согласно работе [4].

1.4. Крепь рекомендуется рассчитывать с учетом возможных для отдельных элементов или крепи в целом неблагоприятных сочетаний нагрузок и воздействий, которые могут действовать одновременно при строительстве или эксплуатации выработки.

Следует рассматривать:

основное сочетание, состоящее из постоянных, временных, длительных и кратковременных нагрузок и воздействий;

особое сочетание, состоящее из постоянных и временных длительных нагрузок и воздействий, и одного из особых воздействий.

1.5. К постоянным нагрузкам и воздействиям следует относить вызываемые деформированием массива под действием собственной массы (горное давление), вызываемые тектоническими напряжениями в массиве, предварительное напряжение элементов крепи.

Примечание. Под нагрузками на крепь понимаются напряжения на контакте крепи с массивом пород.

К временным длительным нагрузкам относится гидростатическое или гидродинамическое давление подземных вод.

К кратковременным – относятся нагрузки и воздействия, возникающие в процессе сооружения выработки; давление от щитовых домкратов; давление тампонажного раствора, нагнетаемого за крепь.

К особым – относятся сейсмические воздействия, вызываемые землетрясениями, воздействие массовых взрывов.

1.6. Расчет крепи на сочетание нагрузок и воздействий следует производить отдельно на каждый вид нагрузки, после чего расчетные напряжения или внутренние усилия в сечениях крепи, полученные от каждого вида нагрузки, суммируются.

1.7. Расчет крепи на горное давление следует производить на основе решения контактной задачи о взаимодействии крепи с весомым массивом.

Рекомендуется производить расчеты, принимая массив пород линейно-деформируемым.

В необходимых случаях допускается производить расчеты по известным нагрузкам на крепь с использованием данных натурных измерений.

1.8. Расчет крепи в массиве пород с тектоническим начальным полем напряжений следует производить с учетом величины и направления главных начальных напряжений в массиве.

1.9. Допускается определять среднюю нагрузку (среднюю величину нормальных контактных напряжений) на крепь выработки некругового сечения на основании решения одномерной задачи для эквивалентной выработки круглого сечения с использованием механических моделей массива, учитывающих физическую нелинейность и неоднородность окружающих выработку пород.

1.10. Герметичную крепь выработок, проведенных в водоносных породах, следует рассчитывать на гидростатическое давление подземных вод.

При этом на контакте крепи с массивом (или на контакте гидроизолирующего слоя с внешней частью крепи) следует учитывать скачок начальных нормальных напряжений, равный полному статическому напору подземных вод.

1.11. При определении давления пород на крепь в водоносных породах необходимо учитывать взвешивающее действие воды.

Вес пород в единице объема с учетом взвешивающего

действия воды ($кН/м^3$) следует определять по формуле

$$\gamma_{взв} = \frac{1}{1+\varepsilon}(\gamma - 10), \qquad (1.1)$$

где γ – удельный вес пород, определяемый по данным лабораторных исследований, $кН/м^3$;

ε – коэффициент пористости пород.

1.12. В районах с сейсмичностью 7 баллов и более следует производить расчет крепи на сейсмические воздействия, вызываемые землетрясениями, в соответствии с главой СНиП по строительству в сейсмических районах. При расчете крепи на сейсмические воздействия следует определять наиболее неблагоприятное напряженное состояние в каждом сечении конструкции при различных сочетаниях одновременно приходящих волн сжатия-растяжения (продольных) и сдвига (поперечных) любого направления в плоскости поперечного сечения выработки [5].

При расчете набрызг-бетонной крепи, а также крепи, прикрепленной анкерами к породе, следует учитывать как фазу сжатия, так и фазу растяжения при действии продольной волны.

В остальных случаях допускается производить расчет крепи без учета действия продольной волны в фазе растяжения.

1.13. Расчеты крепи по предельным состояниям первой группы следует производить с применением обеспечивающих надежность работы конструкции коэффициентов: перегрузки (в виде множителей к величинам постоянных и длительных временных нагрузок и воздействий); условий работы конструкций крепи (в виде множителей к расчетным сопротивлениям их материалов); надежности (на них делятся расчетные сопротивления материалов крепи).

1.14. Коэффициенты перегрузок следует принимать согласно таблице. При расчетах с использованием схем контактного взаимодействия крепи с массивом пород, а также с использованием данных измерений нагрузок в натурных условиях коэффициент перегрузки принимается равным 1.

Нагрузки и воздействия	Коэффициенты перегрузки
1	2
Расчетные средние нормальные нагрузки на крепь	1,1 (0,9)

Окончание таблицы

1	2
Гидростатическое давление	1,1 (0,9)
Предварительное напряжение	1,3 (0,7)

Примечание. Значения коэффициентов перегрузки, указанные в скобках, надлежит принимать в случаях, когда уменьшение нагрузки приводит к более неблагоприятной работе крепи.

1.15. Коэффициенты условий работы конструкций крепи следует принимать в зависимости от качества оконтуривания выработки и качества контакта крепи с массивом пород.

При комбайновом проведении выработок с образованием гладкой поверхности и прочном контакте крепи с массивом пород коэффициент условий работы крепи следует принимать равным 1.

1.16. Коэффициенты надежности крепи следует принимать в зависимости от типа и назначения капитальных горных выработок.

1.17. Расчеты по предельным состояниям второй группы следует производить на основе сочетания нагрузок, применяя нормативные характеристики материалов крепи, при этом коэффициент перегрузки следует принимать равным 1.

1.18. Проверку прочности бетонной и железобетонной крепи по предельным состояниям следует производить в соответствии с главой СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, а металлической и чугунной – в соответствии с главой СНиП по проектированию металлических конструкций.

2. РАСЧЕТ КРЕПИ ВЫРАБОТОК КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

2.1. Положения настоящего раздела следует применять при расчете монолитной и сборномонолитной крепи горизонтальных выработок круглого сечения в упрочнённом массиве.

2.2. Расчет рекомендуется производить с использованием метода расчета многослойной крепи, расчетная схема показана на рис. 2.1.

Допускается применять следующие три схемы приложения напряжений:

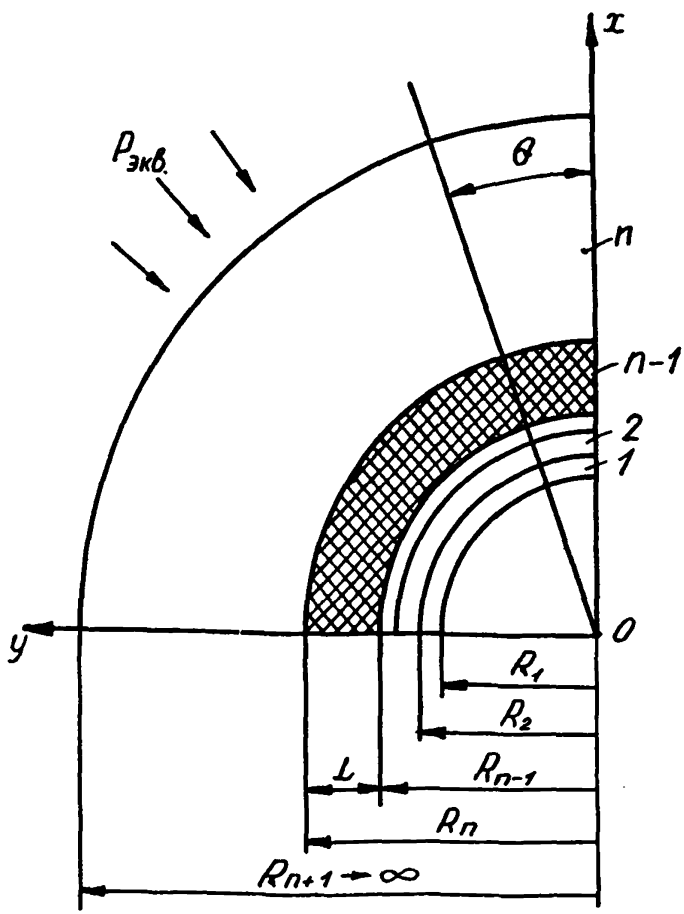


Рис.2.1. Расчетная схема крепи горизонтальной выработки круглого сечения в упрочненном массиве: 1, 2, ... n – слои крепи, которая в общем случае может быть многослойной; n-1 – зона упрочненных пород; n – массив пород; $R_1 \dots R_{n-1}, R_n$ – внутренние радиусы соответствующих слоев крепи; θ – полярный угол; L – толщина упрочненных пород

1) эквивалентные расчетные напряжения приложены к внешнему контуру многослойного кольца (на бесконечности). Эквивалентные напряжения (МПа) определяются по формуле

$$P_{экв} = P_{0\,экв} + P_{2\,экв} \cdot \cos 2\theta, \qquad (2.1)$$

где

$$P_{0\,экв} = \alpha^* \gamma H \frac{1+\lambda}{4(1-\nu_п)};$$

$$P_{2\,экв} = \alpha^* \gamma H \frac{(1-\lambda)(3-4\nu_п)}{8(1-\nu_п)};$$

α^* – коэффициент, учитывающий отставание возведения крепи от обнажения пород ($\alpha^* \leq 1$ определяется по данным экспериментов);

H – глубина, м;

λ – коэффициент бокового давления в нетронутом массиве пород;

$\nu_п$ – коэффициент Пуассона пород в массиве;

Алгоритм расчета приведен в приложении 1;

2) расчетные снимаемые напряжения приложены к линии контакта крепи с массивом $R_{п-1}$. Снимаемые напряжения (МПа) определяются по формулам

$$P_{сн} = P_{0сн} + P_{2сн} \cdot \cos 2\theta \qquad (2.2)$$

$$Q_{сн} = Q_{2сн} \cdot \sin 2\theta$$

где

$$P_{0сн} = \alpha^* \gamma H \frac{1+\lambda}{2};$$

$$P_{2сн} = \alpha^* \gamma H \frac{1-\lambda}{2};$$

$$Q_{2сн} = -\alpha^* \gamma H \frac{1-\lambda}{2};$$

$P_{сн}$ – нормальные напряжения;

$Q_{сн}$ – касательные напряжения;

3) расчетные снимаемые напряжения (2.2) приложены к внутреннему контуру сечения крепи и берутся со знаком минус (растяжение). В этом случае полные напряжения в крепи определяются как сумма начальных и дополнительных. Начальные напряжения (МПа) принимаются по формулам

$$\sigma_r^{(0)} = P_0^{(0)} + P_2^{(0)} \cdot \cos 2\theta;$$

$$\tau_{r\theta}^{(0)} = q_2^{(0)} \cdot \sin 2\theta, \qquad (2.3)$$

где:

$$P_0^{(0)} = \alpha^* \gamma H \frac{1+\lambda}{2};\quad P_2^{(0)} = \alpha^* \gamma H \frac{1-\lambda}{2};\quad q_2^{(0)} = -\alpha^* \gamma H \frac{1-\lambda}{2}.$$

Снимаемые напряжения в элементах крепи определяются расчетом в соответствии с расчетной схемой (см.рис.2.1).

2.3. Порядок расчета крепи для случаев предварительного и последующего упрочнения пород, а также расчет на сейсмические воздействия землетрясений описаны в разделе 3.

2.4. Напряжения на контактах слоев крепи и на контакте крепи с упрочненной зоной рекомендуется определять с использованием коэффициентов передачи нагрузок [1].

2.5. Прочность монолитной бетонной и железобетонной крепей следует проверять по предельным состояниям первой группы по прочности на сжатие в соответствии с рекомендациями СНиП.

Прочность слоев многослойной крепи допускается проверять по упругой стадии по максимальным сжимающим напряжениям. Проверку прочности внутренних слоев многослойной крепи следует производить с учетом объемного напряженного состояния материала (объемная прочность).

3. РАСЧЁТ ЗАМКНУТОЙ МОНОЛИТНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК ПРОИЗВОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

3.1 Расчет замкнутой крепи произвольного поперечного сечения выполняется на действие собственного веса пород, давления подземных вод и в необходимых случаях на сейсмические воздействия землетрясений.

3.2 Расчет замкнутой монолитной крепи выработок некругового поперечного сечения на действие собственного веса пород производится на основе решения плоской контактной задачи теории упругости для двуслойного кольца произвольной формы (с одной осью симметрии), подкрепляющего отверстие в линейно-деформируемой среде. Расчетная схема приведена на рис.3.1.

Слои S_1, S_2 толщинами соответственно L, d и среда имеют отличные друг от друга деформационные характеристики – модули деформации E_i ($i = 0,1,2$) и коэффициенты Пуассона ν_i ($i = 0,1,2$) и работают совместно как единая деформируемая система. При этом среда S_0 моделирует массив пород, слой S_1 – зону упрочненных пород, S_2 – крепь выработки.

Деформационные характеристики E_1, ν_1 упрочненного слоя определяются в соответствии с [2], [3].

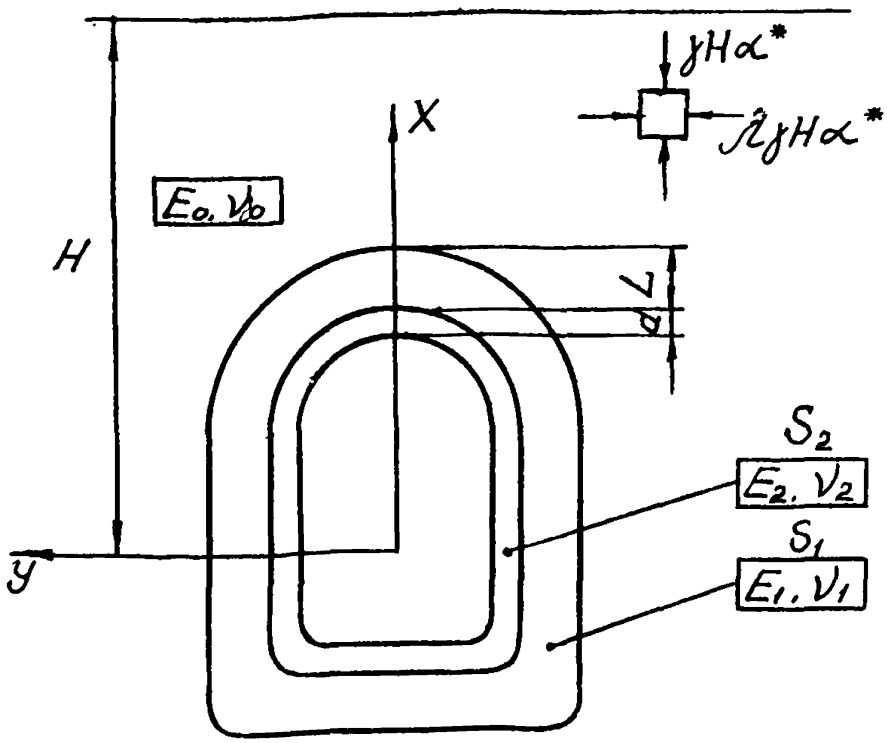


Рис.3.1. Расчетная схема крепи горизонтальной выработки произвольного сечения в упрочненном массиве

В области $S_1 + S_2$ имеется начальное поле напряжений (МПа), обусловленное собственным весом пород:

$$\sigma_x^{(0)} = -\gamma H \alpha^*; \quad \sigma_y^{(0)} = -\lambda \gamma H \alpha^*, \qquad (3.1)$$

где H – глубина заложения выработки, м;

λ – коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве;

α^* – корректирующий множитель, введенный для учета влияния технологии производства работ.

3.3. Корректирующий множитель α^* (МПа) для случая предварительного упрочнения пород следует определять по формуле [6]

$$\alpha^* = \exp(-1{,}3\,\ell/R_0), \qquad (3.2)$$

где ℓ – расстояние от вводимой в работу крепи до забоя выработки, м;

R_0 – средний радиус выработки, м.

3.4. В случае последующего упрочнения с отставанием от забоя на расстояние $\ell_1 > \ell$ расчет с использованием схемы, приведенной на рис.3.1., производится дважды:

определяется напряженное состояние в крепи, возникающее до производства работ по упрочнению, при значениях

$$E_1 = E_0 \; ; \quad \nu_1 = \nu_0 \; ;$$
$$\alpha^* = exp(-1{,}3\ell/R_0) - exp(-1{,}3\ell_1/R_0) \; ; \qquad (3.3)$$

определяется напряженное состояние крепи, возникающее дополнительно после создания упрочненного слоя, при значении

$$\alpha^* = exp(-1{,}3\ell_1/R_0) \qquad (3.4)$$

и отличных от остального массива деформационных характеристиках упрочненного слоя пород. Полученные результаты суммируются. При $\ell_1 = \ell$ первый расчет не требуется.

3.5. Для расчета крепи на действие давления подземных вод при отсутствии фильтрации через упрочненную зону используется расчетная схема, приведенная на рис.3.1, с заданием начальных напряжений в массиве, равных полному статическому напору воды

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = -\gamma_в H_в \, , \qquad (3.5)$$

где $H_в$ – напор подземных вод, м.

3.6. Для расчета водонепроницаемой крепи при фильтрации через упрочненную зону, указанные в п.3.5. начальные напряжения, равные полному статическому напору воды, задаются в массиве и в упрочненном слое.

3.7. В случае фильтрации через упрочненную зону и крепь, при рассмотрении схемы на рис.3.1 задаются начальные напряжения (МПа) в массиве

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = -P_0 \qquad (3.6)$$

и в упрочненной зоне

$$\sigma_x^{(0)} = \sigma_y^{(0)} = -P_1 \, , \qquad (3.7)$$

где

$$P_0 = n\gamma_в H_c \frac{\frac{1}{K_2} ln \frac{R_0}{R_1} + \frac{1}{K_1} ln \frac{R_c + L}{R_0}}{\frac{1}{K_2} ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{K_1} ln \frac{R_0 + L}{R_0} + \frac{1}{K_0} ln \frac{2H}{R_0 + L}} \; ;$$

$$P_1 = n\gamma_в H_e \frac{\frac{1}{K_2}\ln\frac{R_0}{R_1}}{\frac{1}{K_2}\ln\frac{R_0}{R_1} + \frac{1}{K_1}\ln\frac{R_0+L}{R_0} + \frac{1}{K_0}\ln\frac{2H}{R_0+L}}; \quad (3.8)$$

$n=1,1$ – коэффициент перегрузки [6];

R_1 – средний радиус внутреннего контура поперечного сечения крепи, м;

K_0, K_1, K_2 – коэффициенты фильтрации соответственно массива пород в естественном состоянии, упрочненной зоны и материала крепи, м/с;

L – толщина зоны упрочнения, м.

Если коэффициент фильтрации массива пород $K_0 > 10^{-4}$ м/с, то вместо (3.8) допускается использовать формулы

$$P_0 = n\gamma_в H_e;$$

$$P_1 = n\gamma_в H \cdot \frac{\frac{1}{K_2}\ln\frac{R_0}{R_1}}{\frac{1}{K_2}\ln\frac{R_0}{R_1} + \frac{1}{K_1}\ln\frac{R_0+L}{R_0}}. \quad (3.9)$$

3.8. Проверка прочности сечений бетонной и железобетонной крепи производится в соответствии с требованиями главы СНиП П-21-75.

3.9. Расчет крепи с учетом ползучести пород в массиве и в упрочненной зоне осуществляется с помощью метода переменных модулей, то есть напряжения и усилия в крепи в каждый момент времени определяются при значениях деформационных характеристик массива E_{ot}, ν_{ot} и пород упрочненной зоны E_{1t}, ν_{1t}, определяемых соответственно согласно [6] и п.1.3. настоящих рекомендаций.

3.10. При проектировании незамкнутой крепи допускается рассчитывать её как замкнутую, используя для проверки прочности сечений усилия, полученные в соответствующей части моделирующего крепь кольца S_1.

3.11. Для расчета на сейсмические воздействия землетрясений напряженное состояние крепи от действия произвольно направленных в плоскости поперечного сечения выработки длинных продольных и поперечных волн следует определять на основании решения плоских квазистатических контактных задач теории упругости, расчетные схемы которых показаны на рис. 3.2. Напряжения на бесконечности определяются по формулам

$$P=\frac{1}{2\pi}AK_1\gamma C_1T_0\ ,\ \text{МПа};\ \xi=\frac{\nu_0}{1-\nu_0}\ ;$$
$$Q=\frac{1}{2\pi}AK_1\gamma C_2T_0\ , \qquad (3.10)$$

где A – коэффициент, соответствующий баллу землетрясения;

K_1 – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения;

ν_0 – коэффициент Пуассона массива пород;

$C_1; C_2$ – скорости распространения соответственно упругих продольных и поперечных волн, м/с;

T_0 – преобладающий период колебаний частиц породы.

3.12. Для определения наиболее неблагоприятного напряженного состояния сумма и разность нормальных тангенциальных напряжений σ_θ, полученных из решения задач, показанных соответственно на рис. 3.2, характеризующие напряженное состояние крепи от совместного действия одновременно приходящих (худший случай) продольных и поперечных волн, в каждом сечении конструкции исследуются на экстремум по углу падения волн α и для каждого сечения определяются максимальные сжимающие и максимальные растягивающие напряжения σ_θ, которые могут возникать при совместном действии поперечных волн и продольных в фазе сжатия. Усилия в каждом сечении конструкции определяются при тех сочетаниях и направлениях волн, при которых имеют место экстремальные значения σ_θ. В результате получаются по две эпюры изгибающих моментов M и продольных сил N, соответствующих наибольшим сжимающим и наибольшим растягивающим напряжениям в крепи, которые суммируются с усилиями от других видов нагрузок, после чего производится проверка прочности сечений на сжатие и на растяжение.

При расчете набрызг-бетонной крепи или крепи, прикрепленной анкерами к породе, после исследования на экстремум определяются напряжения σ_θ, максимальные по абсолютной величине, и соответствующие им усилия, которые берутся со знаком "+" и "–" и суммируются с усилиями от других видов нагрузок.

Для проверки прочности сечений крепи на сжатие и на растяжение используются суммарные усилия в их наиболее неблагоприятном сочетании, то есть отдельно суммируются усилия, соответствующие сжимающим (отрицательным) и растягивающим (положительным) нормальным тангенциальным напряжениям в каждом сечении крепи.

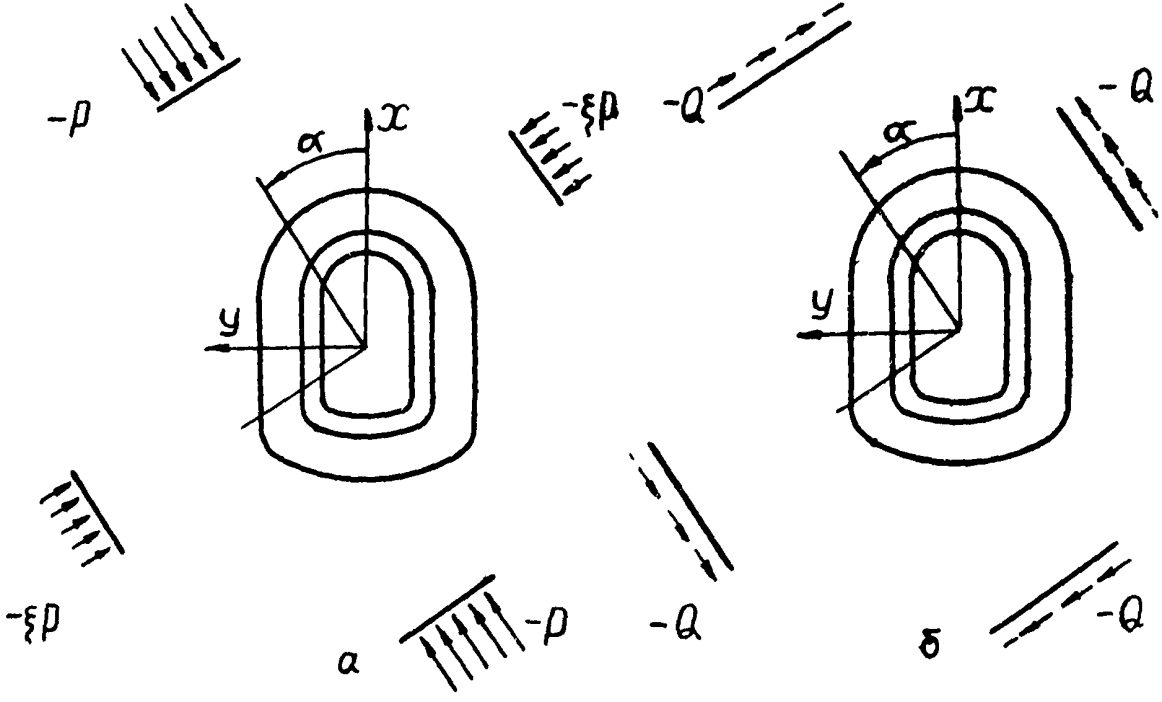


Рис. 3.2. Расчетные схемы для определения напряжений от действия длинных волн: а – продольных, б – поперечных

4. РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ОЧЕРТАНИИ ЗОНЫ УПРОЧНЕНИЯ

4.1. Очертание зоны упрочнения принимается эллиптическим, если массив в окрестности выработки имеет направленную трещиноватость. Большую ось эллипса, в зависимости от того, к какому направлению она тяготеет, допускается принимать вертикальной или горизонтальной.

Размер малой полуоси эллипса (м) находится по формуле

$$b = R_0 + L \,, \qquad (4.1)$$

где L – требуемая толщина зоны упрочнения, м.

Размер большой полуоси (м) допускается принимать

$$a = 1{,}5\, b \,. \qquad (4.2)$$

Для стволов, сооружаемых с применением комплексного метода тампонажа трещиноватых горных пород, размеры эллиптической зоны затампонированных пород определяются согласно нормам технологического проектирования угольных шахт [7].

4.2. Расчет крепи с учетом эллиптической зоны упрочненных пород производится на действие собственного веса пород и давления подземных вод.

4.3. Расчет крепи на действие собственного веса пород производится на основе решения плоской контактной задачи теории упругости для среды, составленной из трех различных материалов [8].

Расчетная схема приведена на рис. 4.1.

Область S_0 моделирует массив пород, обладающий модулем деформации E_0 и коэффициентом Пуассона ν_0. Область S_1 моделирует зону упрочненных пород с деформационными характеристиками E_1, ν_1. Область S_2 моделирует крепь, материал которой имеет деформационные характеристики E_2, ν_2.

В области $S_0 + S_1$ имеются начальные напряжения, обусловленные действием собственного веса пород, принимаемые при расчете крепи горизонтальных выработок

$$\sigma_x^{(0)} = -\gamma H \alpha^* \,; \qquad \sigma_y^{(0)} = -\lambda \gamma H \alpha^* \,. \qquad (4.3)$$

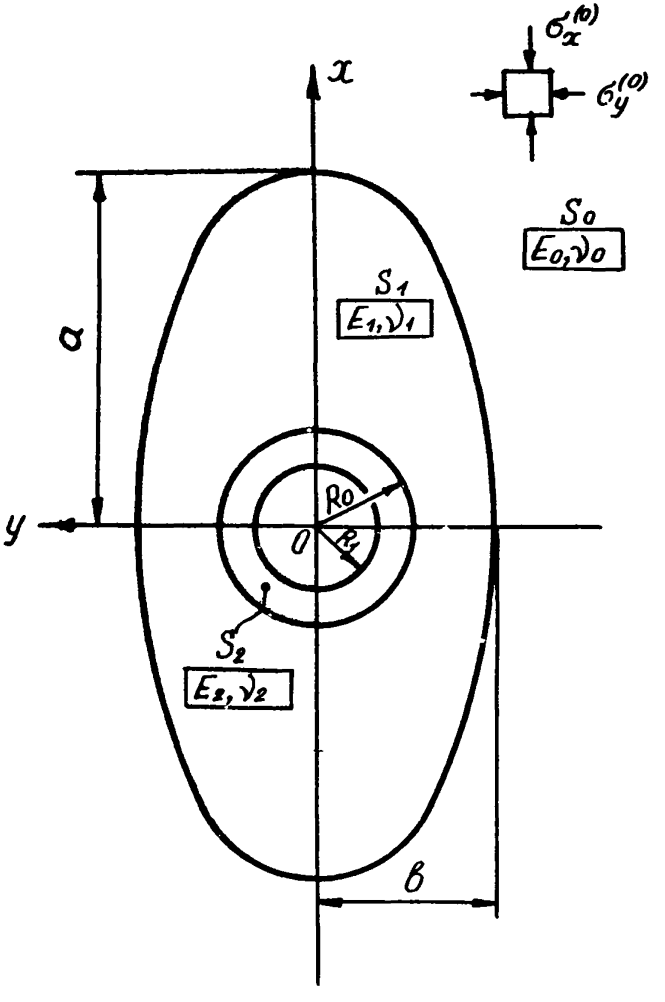


Рис. 4.1. Расчетная схема крепи горизонтальной выработки круглого сечения при эллиптическом очертании зоны упрочнения

при расчете крепи вертикальных стволов

$$\sigma_x^{(o)} = -\lambda\gamma H\alpha^* \; ; \; \sigma_y^{(o)} = -\lambda\gamma H\alpha^* \quad , \qquad (4.4)$$

где H – глубина заложения выработки (для стволов – глубина рассчитываемого сечения), м;

λ – коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве, определяющийся согласно [6];

α^* – корректирующий множитель, введенный для учета влияния технологии производства работ.

4.4. Корректирующий множитель α^* для случая предварительного упрочнения или тампонажа определяется согласно п. 3.3.

Порядок расчета крепи с учетом последующего упрочнения пород соответствует описанному в п. 3.4.

4.5. Для расчета крепи горизонтальных выработок и вертикальных стволов на действие давления подземных вод начальные напряжения принимаются согласно п.п. 3.5.– 3.8. с подстановкой в формулы (3.8), (3.9) величины среднего радиуса упрочненной зоны

$$R_o + L = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad . \qquad (4.5)$$

4.6. Расчет крепи с учетом ползучести упрочненных пород осуществляется согласно п.3.9.

Приложение 1

РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ КРУГОВОМ ОЧЕРТАНИИ ЗОНЫ УПРОЧНЕНИЯ

1.1. Ниже приводятся результаты расчетов бетонной крепи толщиной d = 0,35 м для ствола радиуса R_o = 2,1 м при круговом очертании зоны упрочненных пород при L = 0,8 м.

Материал крепи – бетон М300. Деформационные характеристики крепи, пород массива и пород упрочненной зоны приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Материал	Модули деформации, МПа	Коэффициент Пуассона
Массив пород	7000,0	0,3
Упрочненные породы	14000, 0	0,3
Бетон М300	29000, 0	0,15

1.2. Расчет крепи на действие собственного веса пород произведен согласно п.2.1. - 2.5. настоящих рекомендаций по программе РК2*).

При расчете приняты следующие исходные данные: глубина заложения выработки H = 500 м, вес единицы объема пород γ = 25 кН/м^3, расстояние от сооружаемой крепи до забоя выработки ℓ = 2 м, коэффициент бокового давления пород λ = 0,428.

1.3. Результаты расчета для случая предварительного упрочнения пород представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2.

Усилия в сечениях крепи ствола от действия собственного веса пород

Угол, отсчитываемый от оси X, град	Изгибающие моменты, кН·м	Продольные силы, кН
0,0	-2,31	895,30
90,0	4,67	4006,58

1.4. Проверка прочности сечений крепи выполнена в соответствии с п.2.5.

Опасное сечение расположено на оси y (см. рис.2.1).

Расчетное усилие:

$$M = 4{,}67 \text{ кН·м};$$

$$N = 4006{,}58 \text{ кН}.$$

Прочность бетона М300 принимается $R_{пр}$ = 13,5 МПа [6].

Эксцентриситет продольной силы:

$$\ell_0 = \left|\frac{M}{N}\right| = 0{,}01166 < 0{,}45\,d .$$

*) Программа расчета РК2 для ЕС ЭВМ на алгоритмическом языке фортран-4 имеется в Тульском политехническом институте

Предельная несущая способность крепи определяется по формуле [6]

$$NS = KR_{пр}\ b d\ \left(1 - \frac{2\ell_0}{d}\right),\ кН,$$

где $K=1$; $b = 1$ м.

Отсюда

$$NS = 1 \cdot 13{,}5 \cdot 0{,}35 \cdot \left(1 - \frac{2 \times 0{,}01166}{0{,}35}\right) = 4410{,}12\ кН.$$

Условие прочности $|N| < |NS|$ выполнено (4006,58 < 4410,12), крепь из бетона марки М300 соответствует горно-техническим условиям.

Приложение 2

РАСЧЕТ КРЕПИ ВЫРАБОТКИ НЕКРУГОВОГО СЕЧЕНИЯ В УПРОЧНЕННОМ МАССИВЕ ПОРОД

Ниже приводятся результаты расчетов крепи выработки сводчатого очертания с прямыми стенами. Форма и размеры поперечного сечения приведены на рис. 2.1.

Материал крепи – бетон М200. Деформационные характеристики массива, пород упрочненной зоны и крепи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал	Модуль деформации (E), МПа	Коэффициент Пуассона (ν)
Массив пород	7000	0,2
Упрочненные породы	14000	0,2
Бетон М200	24000	0,15

2.1. Расчет крепи на действие собственного веса пород произведен согласно пп. 3.1–3.4 настоящих рекомендаций по программе FONS1 *.

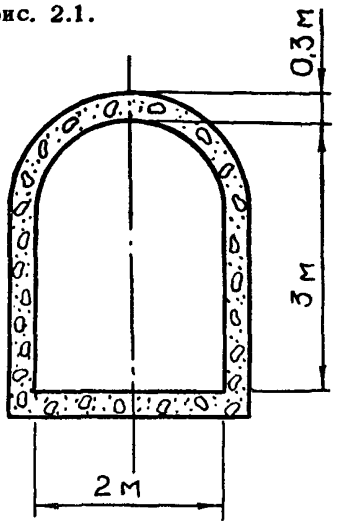


Рис. 2.1. Форма и размеры поперечного сечения крепи

* Программа расчета FONS1 для ЕС ЭВМ на алгоритмическом языке фортран-4 имеется в Тульском политехническом институте.

При расчете приняты следующие исходные данные: глубина заложения выработки $H = 500$ м, вес единицы объема пород $\gamma = 25$ кН/м^3, расстояние от сооружаемой крепи до забоя выработки $\ell = 3$ м. Толщина упрочненного слоя пород $L = 1{,}8$ м. Коэффициент бокового давления пород $\lambda = 0{,}25$.

2.1.1. Результаты расчета для случая предварительного упрочнения представлены на рис.2.2. в виде эпюр расчетных усилий – изгибающих моментов M и продольных сил N *.

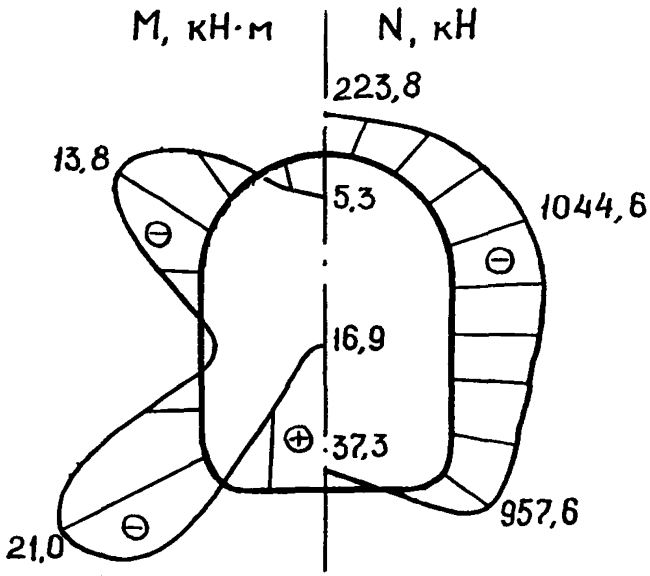


Рис. 2.2. Эпюры расчетных усилий для случая предварительного упрочнения

2.1.2. Результаты расчета для случая последующего упрочнения с отставанием от забоя на $\ell_1 = 5$ м представлены на рис. 2.3.

2.2. Расчет крепи на действие давления подземных вод произведен согласно п. 3.7 настоящих рекомендаций.

При расчете приняты следующие исходные данные: уровень подземных вод $H_1 = 17$ м, вес единицы объема воды $\gamma = 10$ кН/м^3, коэффициент фильтрации пород в естественном со-

---

* Здесь и далее знак "–" у сил означает сжатие, у моментов – растяжение внешнего волокна, а "+" у сил означает растяжение, у моментов – растяжение внутреннего волокна.

стоянии $K_0 = 10^{-4}$ м/с, упрочненных пород $K_1 = 10^{-7}$ м/с и материала крепи $K_2 = 1{,}8 \times 10^{-8}$ м/с.

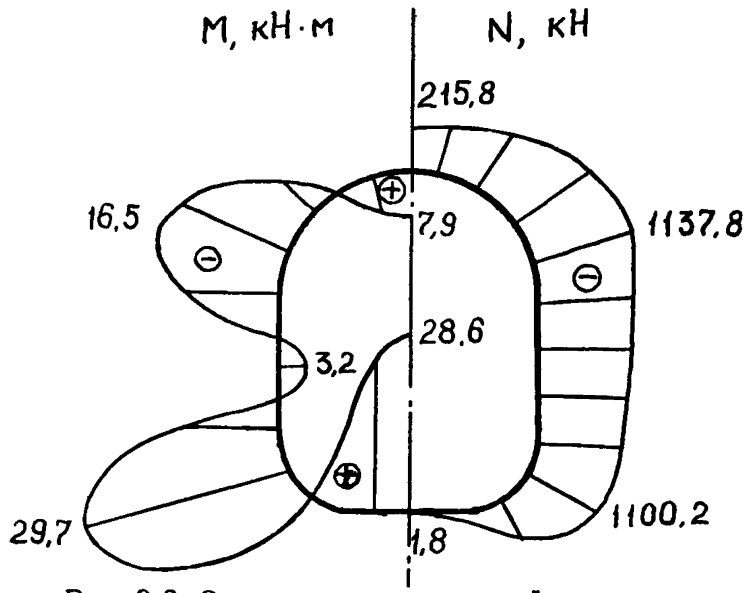


Рис. 2.3. Эпюры расчетных усилий для случая последующего упрочнения

Результаты расчета представлены в виде эпюр расчетных усилий на рис. 2.4.

2.3. Проверка прочности сечений крепи выполнена согласно п. 3.8 для случая совместного действия собственного веса пород (при предварительном упрочнении) и давления подземных вод. Опасное сечение расположено в пяте свода.

Расчетные усилия:

$$M = -(13{,}8 + 0{,}24) = -14{,}04 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$N = -(1044{,}6 + 101{,}6) = -1156{,}2 \text{ кН}.$$

Прочность бетона М200 принимается [6] $R_{пр} = 9$ МПа.

Эксцентриситет продольной силы

$$e_0 = \left|\frac{M}{N}\right| = \frac{14{,}04}{1156{,}2} = 0{,}0012 \text{ м} < 0{,}45\,d,$$

где d – толщина крепи, равная 0,3 м.

Предельная несущая способность бетонной крепи определяется по формуле [6] $NS = \kappa \cdot R_{пр} \cdot b \cdot d \cdot (1 - 2e_0 d^{-1})$, кН,

где $K=1$; $\beta = 1$ м.

Отсюда $NS = 1 \times 9 \times 1 \times 0{,}3 \cdot (- \frac{2 \times 0{,}0012}{0{,}3}) = 2{,}48$ мН.

Условие прочности $|N| < NS$ выполнено ($1{,}56$ мН $<$ $2{,}48$ мН).

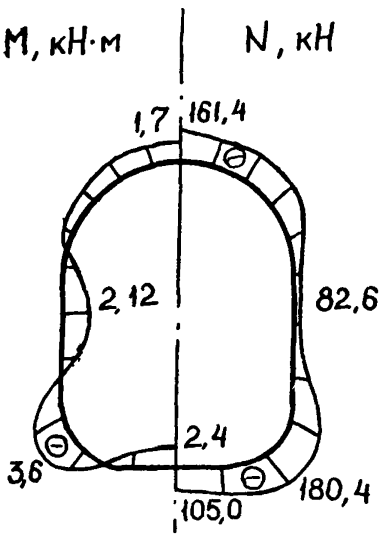


Рис. 2.4. Эпюры расчетных усилий от действия давления подземных вод

2.4. Расчет крепи на сейсмические воздействия землетрясений произведен согласно пп. 3.11–3.12 настоящих рекомендаций по программе FOKL1 *.

При расчете приняты следующие исходные данные: вес единицы объема пород $\gamma = 25$ кН/м^3; преобладающий период колебаний частиц породы $T_0 = 0{,}5$с ; коэффициенты сейсмичности, соответствующие интенсивности землетрясения 9 баллов $A \cdot K_1 = 0{,}1$.

* Программа FOKL1 для ЕС ЭВМ на алгоритмическом языке фортран–4 имеется в Тульском политехническом институте.

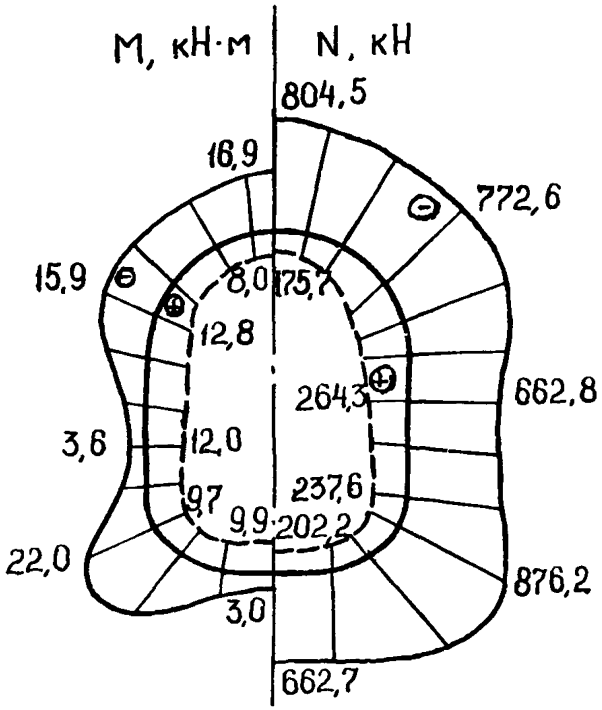


Рис. 2.5. Эпюры расчетных усилий для случая сейсмического воздействия

Результаты расчета на сейсмические воздействия представлены на рис. 2.5, где сплошными линиями показаны эпюры усилий, соответствующие максимальным сжимающим, а пунктирными линиями максимальным растягивающим нормальным тангенциальным напряжениям в крепи.

Приложение 3

РАСЧЕТ МОНОЛИТНОЙ КРЕПИ ВЫРАБОТОК КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ ОЧЕРТАНИИ ЗОНЫ УПРОЧНЕНИЯ

3.1. Ниже приводятся результаты расчетов бетонной крепи толщиной $d = 0{,}35$ м для выработки радиуса $R_0 = 2{,}1$ в эллиптической зоне упрочненных пород с размерами – по вертикали $a = 4{,}35$ м, по горизонтали $b = 2{,}9$ м.

Материал крепи – бетон М200. Деформационные характеристики приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Материал	Модуль деформации E, МПа	Коэффициент Пуассона η
Массив пород	8000,0	0,3
Упрочненные породы	12000,0	0,3
Бетон М200	24000,0	0,15

3.1.1. Расчет крепи на действие собственной массы пород произведен согласно пп.4.1–4.4 настоящих рекомендаций по программе FOS3 *.

При расчете приняты следующие исходные данные: глубина заложения выработки H=500 м, вес единицы объема пород γ =20 кН/м^3, расстояние от сооружаемой крепи до забоя выработки ℓ =2 м, коэффициент бокового давления пород λ =0,428.

3.1.1.1. Результаты расчета для случая предварительного упрочнения пород представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Усилия в сечениях крепи выработок от действия собственного веса пород при предварительном упрочнении

Угол, град., отсчитываемый от вертикальной оси	Изгибающие моменты, кН·м	Продольные силы, кН
0,0	112,7	-609,2
30,0	2,6	-1074,7
60,0	-16,9	-2066,1
90,0	-28,3	-2599,6

3.1.1.2. Результаты расчета для последующего упрочнения с отставанием от забоя на ℓ=4 м представлены в табл.3.3

* Программа FOS3 для ЕС ЭВМ на алгоритмическом языке фортран-4 имеется в Тульском политехническом институте.

Таблица 3.3.

Усилия в сечениях крепи выработок от действия собственного веса пород при последующем упрочнении

Угол, град., отсчитываемый от вертикальной оси	Изгибающие моменты, кН·м	Продольные силы, кН
0,0	14,0	-775,7
30,0	2,9	-1274,8
60,0	-1,99	-2290,0
90,0	-3,17	-2812,9

3.1.2. Расчет крепи на действие давления подземных вод произведен согласно п.4.5 настоящих рекомендаций.

При расчете приняты следующие исходные данные: действующий напор подземных вод $H_в = 30$ м, вес единицы объема воды $\gamma_в = 10$ кН/м^3, коэффициент фильтрации - пород в естественном состоянии $K_0 = 0{,}12 \times 10^{-5}$ м/с, упрочненных пород $K_1 = 0{,}1 \times 10^{-6}$ м/с, материала крепи $K_2 = 1{,}83 \times 10^{-8}$ м/с.

Результаты расчета приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4.

Усилия в сечениях крепи от давления подземных вод

Угол, град., отсчитываемый от вертикальной оси	Изгибающие моменты, кН·м	Продольные силы, кН
0,0	-1,1	-172,78
30,0	-0,92	-169,01
60,0	-0,69	-161,07
90,0	-0,54	-156,96

3.1.3. Проверка прочности сечений крепи выполнена для случая совместного действия собственного веса пород (при предварительном упрочнении) и давления подземных вод.

Опасное сечение расположено на горизонтальном диаметре поперечного сечения крепи.

Расчетные усилия:

$M = -(28{,}3 + 0{,}54) = -28{,}84$ кН·м;

$N = -(2599 + 156{,}96) = -2756{,}56$ кН.

Прочность бетона М200 принимается $R_{пр} = 9$ МПа [6].

Эксцентриситет продольной силы (м):

$$e_o = \left|\frac{M}{N}\right| = \frac{28,4}{2756,56} = 0,0104 \text{ м} < 0,45\,d,$$

Предельная несущая способность бетонной крепи (кН) определяется по формуле [6]

$$NS = KR_{пр} \cdot \beta \cdot d \cdot (1 - 2e_o d^{-1}),$$

где $K = 1$, $\beta = 1$ м.

Отсюда $NS = 1 \times 9 \times 1 \times 0,35 \times (1 - \frac{2 \times 0,0104}{0,35}) = 2962$ кН.

Условие прочности $|N| < NS$ выполнено (2756,56 кН < 2962 кН).

4.2. Расчет крепи вертикального ствола. Расчет произведен для крепи ствола, сооружаемого с применением комплексного метода тампонажа трещиноватых горных пород.

Исходные данные: внутренний радиус поперечного сечения крепи $R_1 = 3,5$ м; толщина крепи $d = 0,4$ м; материал крепи – бетон М200; глубина рассчитываемого сечения $H = 600$ м; вес единицы объема пород $\gamma = 18$ кН/м^3; напор в водоносном горизонте $H_\ell = 183$ м; размеры полуосей зоны затампонированных пород $\alpha = 29$ м, $\beta = 10$ м.

Деформационные и фильтрационные характеристики материалов приведены в табл. 4,5.

Таблица 4.5.

Материал	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент фильтрации, м/с
Массив породы	11000,0	0,3	$0,19 \times 10^{-5}$
Упрочненные породы	13000,0	0,3	$0,5 \times 10^{-6}$
Бетон М200	24000,0	0,15	$1,83 \times 10^{-8}$

Коэффициент бокового давления пород $\lambda = 0,43$, отставание вводимой в работу крепи от забоя $\ell = 3,7$ м.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6.

Угол отсчитываемый от большой оси эллипса, град.	От собственного веса пород		От давления подземных вод	
	изгибающие моменты, кН·м	продольные силы, кН	изгибающие моменты, кН·м	продольные силы, кН
0,0	-4,0	-1139,0	-7,1	-1632,3
30,0	-3,9	-1136,4	-6,1	-1548,6
60,0	-3,8	-1130,0	-3,9	-1379,0
90,0	-3,7	-1126,0	-2,8	-1292,8

Проверка прочности сечения крепи выполняется аналогично п.4.1.3. Опасное сечение расположено на большой оси эллипса.

Расчетные усилия:

$M = -(4,0 + 7,1) = -11,1$ кН·м,

$N = -(1139,2 + 1632,3) = 2771,3$ кН.

Эксцентриситет продольной оси

$$e_0 = \frac{11,1}{2682,2} = 0,004 \text{ м} < 0,45d .$$

Предельная несущая способность бетонной крепи

$$NS = 1 \times 9 \times 1 \times 0,4 \times \left(1 - \frac{2 \times 0,004}{0,4}\right) = 3529,0 \text{ кН}.$$

Условие прочности $|N| < NS$ выполняется (2771,3 кН < 3529,0 кН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. - М.: Недра, 1982. - 270 с.

2. Кондратов А.Б., Барях А.А. Исследование и прогнозирование основных физико-механических свойств породного массива при его инъекционном упрочнении//ФТПРПИ. - 1981.- № 5 - с. 10-15.

3. Кондратов А.Б., Малинин А.Г. Оптимальное проектирование грузонесущих ограждений конструкций из упрочненных пород вокруг горных выработок //ФТПРПИ. - 1985. - № 5 - с.7-11.

4. Руководство по применению крепей, использующих несущую способность упрочненного массива. Макеевка, МакИСИ, 1984. - 70 с.

5. Фотиева Н.Н. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмически активных районах. - М.: Недра, 1980, 270 с.

6. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи/ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. - М.: Стройиздат, 1983, - 272 с.

7. Нормы технологического проектирования угольных шахт. Раздел "Предварительное подавление водопритоков при проходке стволов методом тампонажа горных пород". ВНТП-6-76/ Кипко Э.Я., Полозов Ю.А., Лагунов В.А. и др./Минуглепром СССР, 1977. - 40 с.

8. Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. - М.: Недра, 1986, 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные расчетные положения 1

2. Расчет крепи выработок круглого сечения . . . 4

3. Расчет замкнутой монолитной крепи выработок произвольного сечения 7

4. Расчет монолитной крепи выработок круглого сечения и вертикальных стволов при эллиптическом очертании зоны упрочнения 13

Приложение 1. Расчет монолитной крепи вертикальных стволов круглого сечения при круговом очертании зоны упрочнения 15

Приложение 2. Расчет крепи выработки некругового сечения в упрочненном массиве пород 17

Приложение 3. Расчет монолитной крепи выработок круглого сечения при эллиптическом очертании зоны управления 21

Литература 26

Ответственный за выпуск С.В.ИНОЗЕМЦЕВА
Редактор Е.Ф.ДЕРЕВЯНЧЕНКО

Сдано в производство 24.03.89. Формат 60x90/16.
Офс.печ. уч.-изд.л.1,78. Тираж 60. Заказ 152.
ЦБНТИ Минуглепрома СССР.
Цех оперативной полиграфии
ЦБНТИ Минуглепрома СССР.
340000, г.Донецк, ул.Артема, 60

gost.e-ecolog.ru