УДК 622.272

М.Н.АНДРЕЕВ, *аспирант, gorengi@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

M.N.ANDREYEV, *postg-raduate student, gorengi@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСКУССТВЕННОГО БАРЬЕРНОГО ЦЕЛИКА

Статья посвящена методике расчета физических параметров искусственного барьерного целика, необходимого при отработке подкарьерных запасов кимберлитовых трубок в сложных гидрогеологических условиях.

Ключевые слова: Кимберлитовые трубки, подкарьерные запасы, водоносный горизонт, способ подземной разработки, состав закладочного материала.

CALCULATION METHODOLOGY OF PHYSICAL PARAMETERS OF THE ARTIFICIAL PILLAR BARRIER

The article is devoted to the calculation methodology of physical parameters of the artificial barrier pillar needed when developing underquarry deposits of kimberlitic pipes in difficult hydrogeological conditions.

Key words: Kimberlitic tubes, underquarry reserves, water-bearing level, compound of backfill material.

Трубка «Интернациональная» отработана карьером на глубину 286 м, подземный рудник функционирует с 1999 г. Добыча руды ведется на трех горизонтах (глубина 600-960 м) слоевой системой разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства. В геологическом строении района принимают участие осадочные и магматические породы палеозоя, мезозоя и четвертичные образования. Среди осадочных пород ведущую роль играют известняки, доломиты, гипсы и соли, подчиненное значение занимают песчаники, мергели, алевролиты и аргиллиты [4].

Исследуемый район находится в области развития многолетнемерзлых пород (ММП). Положение нижней границы мерзлой зоны в районе трубки «Интернациональная» варьирует по глубине от 330 до 390 м (абсолютные отметки +70 - +10 м).

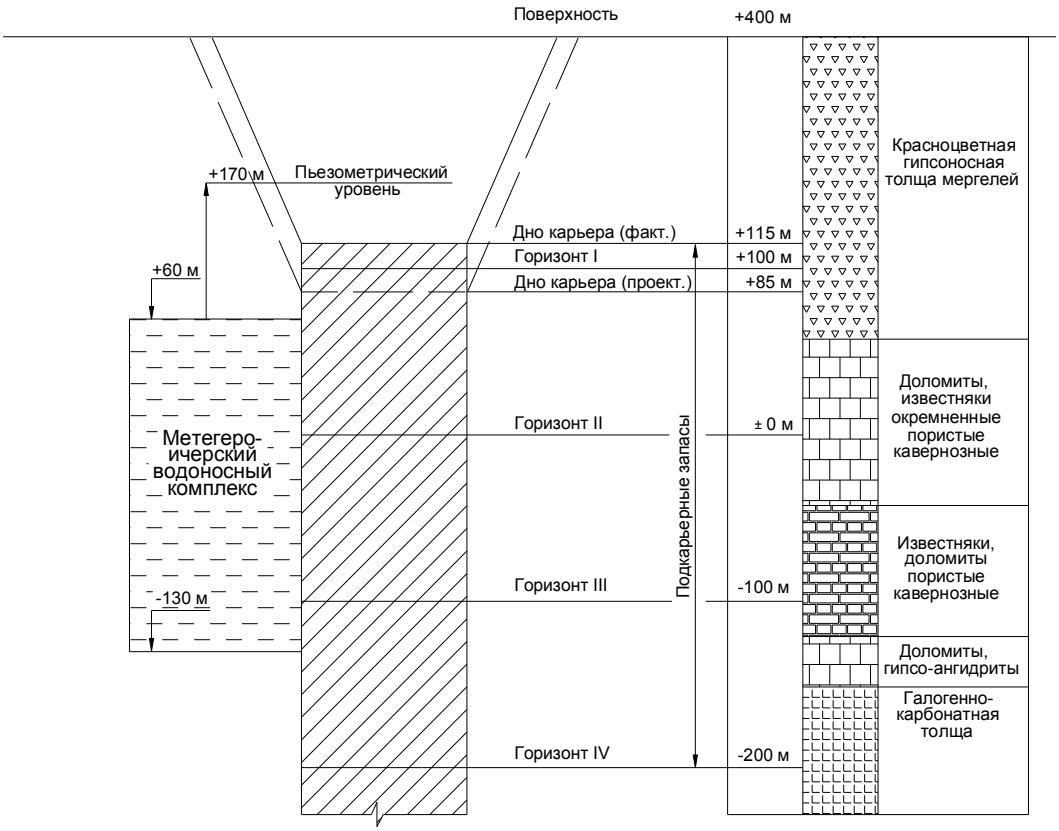
Трубка «Интернациональная» представляет собой вертикальное рудное тело с поперечным сечением близким к эллипсу и характерными размерами осей примерно 100 и

65 м. Площадь поперечного сечения рудного тела уменьшается сверху вниз и составляет в верхней части залежи (дно карьера) порядка 5,4 тыс. м^2. Глубина разведанных запасов составляет 1220 м. Трубка сложена однообразными по составу породами: кимберлитовыми брекчиями (93 %) и кимберлитами (7 %) [5]. Контакт кимберлитовой трубки с вмещающими породами представляет собой ровную поверхность с перетертым рыхлым материалом.

Основным гидрогеологическим объектом, определяющим горно-геологические условия отработки кимберлитовых трубок района, является водоносный горизонт, залегающий под толщей ММП, которые служат ему верхним водоупором. Водосодержащие породы представлены трещиноватыми и кавернозными доломитами (см.рисунок) и известняками с прослоями менее проницаемых гипс-ангидритов и глинистых доломитов.

Водоносный комплекс имеет региональное распространение [1]. Мощность водоносного комплекса изменяется в пределах 150-200 м. По химическому составу подземные воды водоносного комплекса представляют собой сероводородные хлоридные натриевые рассолы с минерализацией от 95 до 300 г/л, имеющие отрицательную температуру (от –1,5 до –2° С) и содержащие растворенные природные газы преимущественно углеводородно-азотного состава.

Прочностные свойства пород вмещающей толщи для интервала от + 115 до – 200 м по М.М.Протодьяконову составляют 2-6. Инженерно-геологические условия месторождения обусловлены различной прочностью вмещающих пород и рудного тела, их соленасыщенностью, трещиноватостью и обводненностью. В разрезе [7] имеет место чередование устойчивых и неустойчивых пород. Общая пористость карбонатной толщи в интервале от 0-550 м изменяется от 1-3



Гидрогеологическая схема подкарьерных запасов трубки «Интернациональная»

до 26-30 % и более, эффективная пористость соответственно – от 0,05-0,1 до 9,6 %, в среднем около 3-5 % [5].

Расчет толщины стенки барьерного целика проведен с использованием разработанной методики [2]. Расчетное сопротивление пород (массива) сжатию R_C определяется для каждого слоя породы по формуле:

$$R_C = Rk_C, \qquad (1)$$

где R – среднее значение предела прочности пород на одноосное сжатие, устанавливаемое экспериментально по результатам испытаний образцов пород, МПа; k_C – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность массива пород поверхностями без сцепления, $k_C = 0{,}6$.

Вертикальные нагрузки определяются как сумма давлений от собственного веса стенки и веса вышележащих пород.

Расчетная вертикальная нагрузка

$$P_B^P = n\sum_{i=1}^{i>1} P_{Bi} + Q_У, \qquad (2)$$

где n – коэффициент перегрузки, 1,4; $\sum_{i=1}^{i>1} P_{Bi}$ – сумма вертикальных нагрузок от вышележащих пород, кН; $Q_У$ – собственный вес целика, кН.

Толщина монолитного искусственного барьерного целика (бетонной стенки) определяется из условия состояния устойчивости горных пород. Величину критерия устойчивости пород вертикальной выработки C следует определять по формуле:

$$C = \frac{k_Г k_{СБ} k_Ц k_t H_P}{26{,}3 + k_\alpha R_C\left(5{,}25 + 0{,}0056 k_\alpha R_C\right)}, \qquad (3)$$

где $k_Г$ – коэффициент, учитывающий взвешивающее действие воды, для участков вне водоносных горизонтов, $k_Г = 1{,}0$; для пород водоносного горизонта

$$k_Г = \frac{\left(\gamma h_1 - P_В\right) + \left(\gamma_П - \gamma_В\right)\dfrac{1}{1+\varepsilon} h_2}{\gamma H}, \qquad (4)$$

где h_1 – высота толщи пород от почвы водоупора до земной поверхности, м; h_2 – высота толщи пород от рассматриваемого [6] участка в водоносном горизонте до почвы водоупора (до кровли водоносного горизонта), м; $\gamma_П$, $\gamma_В$ – соответственно плотность пород водоносного горизонта и плотность воды, кг/м^3; ε – коэффициент пористости пород водоносного горизонта, принимаемый как отношение объема пор к объему скелета, определяемый по данным гидрогеологических изысканий; H – высота толщи пород от рассматриваемого сечения до земной поверхности, м; P_B – давление подземных вод с учетом водопонижения, кПа, при $k_Ф^П / k_Ф^{КР} > 100$; $k_{СБ} = 1$ – коэффициент воздействия на целик выработок; $k_Ц$ – коэффициент воздействия на целик очистных работ, для участков, не испытывающих воздействий, 1,0; k_t – коэффициент влияния времени эксплуатации проектируемой выработки, для шахтных стволов 1,0; k_α – коэффициент влияния угла залегания пород α, град; $H_Р$ – проектная глубина размещения целика, м; $R_С$ – расчетное сопротивление пород, МПа.

Расчетное горизонтальное (радиальное) давление пород $P_П$, кПа, на крепь протяженной части вертикальной выработки при отсутствии влияния горизонтальных деформаций от воздействия очистных работ:

$$P_П = n m_У n_Н P^Н\left[1 + 0{,}1(r_0 - 3)\right], \qquad (5)$$

где r_0 – радиус выработки в свету, м; n – коэффициент перегрузки, 1,3; $m_У$ – коэффициент условий работы, 0,8; $n_Н$ – коэффициент приведения к расчетному (максимальному) давлению при неравномерной эпюре нагрузок, 2,0 – при совмещенной схеме проходки целика; $P^Н$ – нормативное давление на стенку, кПа,

$$P^Н = 10\left[\left(2C - 1\right) + \Delta\right], \qquad (6)$$

C – критерий устойчивости вертикальной стенки; Δ – параметр, учитывающий техно-

логию проходческих работ. При совмещенной технологической схеме проходки с передвижной опалубкой $\Delta = 2$.

При расчете горизонтального давления обводненных пород вместо коэффициента n_H следует принимать коэффициент n_H^{Γ}

$$n_{\text{Н}}^{\Gamma} = 1 + \frac{\left[1 + 0{,}1(r_0 - 3)\right](n_{\text{Н}} - 1)}{1 + 0{,}1(r_0 - 3) + \dfrac{P_{\Gamma}}{P^{\text{Н}}}}. \qquad (7)$$

Давление подземных вод P_{Γ} (кПа) в коренных породах без их тампонажа определяется по формуле

$$P_{\Gamma} = \frac{nH_e\gamma_B}{1 + \dfrac{k_{\Phi}^{KP}\lg\dfrac{R(t)}{r_1}}{k_{\Phi}^{\Pi}\lg\dfrac{r_1}{r_0}}}, \qquad (8)$$

где n – коэффициент перегрузки, 1,1; H_e – естественный или сниженный общим водопонижением напор в данном водоносном горизонте, м; $k_{\Phi}^{\text{КР}}$ – коэффициент фильтрации закладки, равен 0,00158 м/сут; $k_{\Phi}^{\text{П}}$ – коэффициент фильтрации породы, м/сут; r_1, r_0 – соответственно внешний и внутренний радиус крепи; γ_B – плотность воды, кг/м^3; $R(t)$ – радиус влияния дренажа выработки, определяемый по данным гидрогеологических изысканий,

$$R(t) = 1{,}5\sqrt{at}, \qquad (9)$$

a – коэффициент пьезопроводности водоносного горизонта, м^2/сут; t – время от начала дренирования, сут.

Расчет толщины монолитного искусственного целика δ_K, мм, производится по формуле:

$$\delta_K = m_Y r_0 \times \left(\sqrt{\frac{m_{\text{Б1}}m_{\text{Б3}}m_{\text{Б7}}R_{\text{ПР}}}{m_{\text{Б1}}m_{\text{Б3}}m_{\text{Б7}}R_{\text{ПР}} - 2k_P P}} - 1\right) - \delta_{\text{ПБ}}, \qquad (10)$$

где r_0 – радиус вертикальной стенки в свету, 60 м; m_Y – коэффициент условий работы, 1,25; $m_{Б1}, m_{Б3} m_{Б7}$ – коэффициенты, учитывающие длительную нагрузку, условие для нарастания прочности и температурные колебания, принимаемые в соответствии с главой СНИП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций; $R_{ПР}$ – расчетное сопротивление бетона сжатию, принимаемое в соответствии с главой СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, кПа; k_P – коэффициент концентрации напряжений в конструкции крепи, принимаемый равным 1,0- на протяженных участках целика, P – горизонтальное давление в кПа, определяемое как суммарное от давления пород $P_П$ и подземных вод $P_Г$; $\delta_{ПБ}$ – толщина породозакладочной оболочки, образующейся за счет проникновения закладки в окружающие нарушенные породы: для набрызгбетона 50 мм, для остальных типов – ноль.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Характеристика барьерного гидроизолирующего целика на различной глубине

Глубина, м	Состав закладки	Толщина стенки, мм
От отм. +115 м до +60 м	Содержание добавки МСФ-М3С 3 % от количества цемента	2700
От отм. +60 м до –130 м (водоносный гор-т)	Содержание добавки МСФ-М3С 3 % от количества цемента	3200
От отм. –130 м до –200 м	Содержание добавки МСФ-М3 2,02 % от количества цемента	2800

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алборов З.Б.* Разработка зарубежных месторождений, расположенных под водоемами и реками. М.: Наука, 1965.

2. *Борисов А.А.* Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980.

3. *Казикаев Д.М.* Совместная разработка рудных месторождений открытым и подземным способами. М.: Недра, 1967.

4. *Каплунов Д.Р.* Принципы проектирования комбинированных технологий при освоении крупных месторождений твердых полезных ископаемых // Горный журнал. 2003. №10.

5. *Каплунов Д.Р.* Развитие теории проектирования комплексного освоения недр при разработке рудных месторождений // Горный журнал. 2005. №3.

6. *Карташов Ю.М.* Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М.Карташов, Б.В.Матвеев, Г.В.Михеев, А.Б.Фадеев. М.: Недра, 1979.

7. *Клишин В.И.* Оптимизация глубины перехода от открытого к подземному способу разработки кимберлитовых месторождений / В.И.Клишин, А.А.Ордин, А.С.Зельберг // Горный журнал, 2003. № 4.

REFERENCES

1. *Alborov Z.B.* Development of foreign deposits beneath the ponds and rivers. Moscow: Nedra, 1965.

2. *Borisov A.A.* Rock mechanics and arrays. Moscow: Nedra, 1980.

3. *Kazikaev D.M.* Joint development of ore deposits of the open pit and underground. Moscow: Nedra, 1967.

4. *Kaplunov D.R.* Design principles of combined technologies during the development of major mineral deposits // Mining magazine. №10. 2003.

5. *Kaplunov D.R.* Development of design theory, the integrated development of mineral resources in the development of the development of ore deposits // Mining magazine. 2005.

6. *Kartashov Y.M.* Strength and deformability of rocks / Y.M.Kartashov, B.V.Matveev, G.V.Mikheev, A.B.Fadeev. Moscow: Nedra, 1980.

7. *Klishin V.I.* Optimization of the depth of the transition from open to underground method of mining of kimberlite deposits / V.I.Klishin., A.A.Ordin, A.S.Zelberg.// Mining magazine. 2003. № 4.