© Е.Ю. Куликова, 2007

УДК 69.035.4

Е.Ю. Куликова

НОРМАТИВНЫЕ ОСТАТОЧНЫЕ ПРИТОКИ И НАДЕЖНОСТЬ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В существующей нормативной литературе на проектирование и производство крепежных работ степень водонепроницаемости бетонной обделки характеризуется следующими показателями:

- предельной маркой материала обделки по водонепроницаемости;
- предельной нормой остаточного водопритока через обделку в выработку в целом.

Так, СНиП II-40-80 «Метрополитены. Нормы проектирования» требует: «Бетон для элементов конструкций тоннельных обделок должен иметь марку по водонепроницаемости не ниже W 4. для конструкций, возводимых в обводненных грунтах без гидроизоляции, марку бетона по водонепроницаемости следует устанавливать проектом в зависимости от гидрогеологических условий в районе строительства, но не ниже W 6».

В отличие от тоннелей метрополитена степень водонепроницаемости обделок коллекторных тоннелей характеризуется величиной утечек при гидравлических испытаниях методом налива, причем расход q не должен превышать количества, определяемого по формуле:

$$q = 0,83(D + 4), \qquad (1)$$

где q – расход (остаточный приток с отрицательным знаком), принимается в литрах на 10 м тоннеля за время испытания 30 мин.; D – внутренний (условный) диаметр трубопровода, дм.

Для стволов шахт и рудников (СНиП 3.02.03-84 «Подземные горные выработки») общий приток воды в законченный строительством ствол глубиной до 800 м не должен превышать 5 м^3/ч; допускается увеличение этого притока из расчета 0,5 м^3/ч на каждые последующие 100 м. В стволах калийных и соляных шахт приток воды через крепь должен быть не более 0,15 м^3/ч. СНиП III-44-77 (с изм. 1981 г.) исходит из принципа предельного остаточного притока: отсутствие в подземных сооружениях течей, капежей, сырых пятен.

Неудовлетворенность требованиям нормативов привело некоторых исследователей к необходимости обоснования остаточных притоков, исходя из научных представлений о процессе фильтрации.

Л.Н. Коржук [1] выдвинул принцип, согласно которому для получения практически сухого шахтного ствола все количество воды, проходящее через крепь должно испариться с внутренней поверхности ее стенок. Этот принцип был распространен на горизонтальные горные выработки и достаточно широко применяется для расчета их остаточных водопритоков.

Характер испарения влаги со стенок крепи зависит от температуры, влажностного дефицита и скорости движения

Таблица 1

Глубина ствола, м	Диаметр ствола в свету, м			
	4	5	6	8
	Количество выпарившейся влаги с поверхности крепи, $см^3/с$			
800	1,2	1,0	0,8	0,6
600	1,6	1,3	1,1	0,8
400	2,4	2,0	1,6	1,2

воздушной струи, протекающей по выработке. Однако ни количественных, ни нормативных зависимостей методика не дает. Рекомендуется лишь принимать, что в климатических условиях Донбасса в наиболее благоприятное время года суточное испарение влаги со стенок воздухоподающих стволов составляет 1 $см^3$ с 1 $см^2$ в сутки.

Анализируя изложенные подходы к нормативно-остаточным водопритокам в подземное сооружение. Необходимо отметить следующее.

Принцип отождествления водонепроницаемости крепи с маркой материала обделки по водонепроницаемости не отвечает требованиям практики. Основной приток подземных вод в сооружение поступает через технологические швы и аналогичные неплотности в обделке, следовательно, их герметизация в значительной степени решает проблему водопритоков.

Второй принцип более приемлем, однако предельная норма остаточного водопритока зачастую завышена, т.к. не имеет под собой достаточного обоснования. Действительно, если взять допустимую норму водопритоков в ствол (5 $м^3/ч$), то при равномерном испарении с каждого квадратного сантиметра внутренней поверхности крепи должно испариться количество влаги, указанное в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что в большинстве случаев через 1 $см^2$ крепи фильтруется более 1 $см^3$ влаги в час, т.е. принцип получения практически сухого ствола не выдерживается, тем более, что согласно СНиП II-94-80 «Подземные горные выработки», остаточных приток в ствол $Q_{ост}$ определяется формулой:

$$Q_{ост} = Wh, \qquad (2)$$

где W – фильтрационный расход воды на единицу длины ствола, определенный для данного водоносного пласта, $м^3$/сут; h – мощность водоносного горизонта, м.

Следовательно, имеет место не равномерный приток по всей поверхности крепи, а концентрированный на отдельных участках, в соответствии с количеством водоносных пластов. Таким образом, данные табл. 1 сильно занижены.

Этот же вывод касается и других подземных сооружений. Нормативные требования к водонепроницаемости крепей и обделок уже на стадии проектирования создают предпосылки отказов этих конструкций.

Упование на самоуплотнение бетона [2] не оправдывается на практике, более того, в минерализованных водах самоуплотнения бетона вообще не происходит [3]. Так как подземные воды всегда в известной степени минерализованы, то положение о самоуплотнении бетонов становится за-ведомо ложным.

В данном случае отказом подземного сооружения можно считать и нарушение температурно-влажност-ных требований государственных санитарно-гигиенических норм, приведенных в табл. 2.

Имеющиеся исследования не дают представлений насколько принцип по-

Таблица 3

Категория сооружения	Радиус пор, см	Период года	Коэффициент фильтрации $K_ф$, см/час			Требования		Механизм переноса жидкости
			$T_{опт}$, ^{0}C	$T_{доп}$, ^{0}C	$W_{опт}^{отн}$, %	$W_{доп}^{отн}$, %	$V_{опт}$, м/с	$V_{доп}$, м/с
	менее 10^{-5}		менее 10^{-8}					молекулярная диффузия
I	10^{-5}-10^{-3}	Холодный	21÷24	10^{-8}÷10^{-7} 17÷22	40÷60	75	0,1	молекулярный поток 0,1÷0,2
	более 10^{-3}	Теплый	22÷25	более 10^{-7} 19÷28	40÷60	55÷60	0,1÷0,2	вязкостный поток 0,1÷0,3
II		Холодный	17÷23	13÷23	40÷60	75	0,2	0,3÷0,4
		Теплый	20÷23	15÷27	40÷60	65÷70	0,3	0,2÷0,5
III		Холодный	16÷18	12÷19	40÷60	75	0,3	0,5
		Теплый	18÷20	13÷26	40÷60	75	0,4	0,2÷0,6
IV		Весь период	-1÷0	-	-	85÷90	-	-

Примечание: I категория – сооружения, предназначенные для выполнения легких физических работ; II категория – сооружения, предназначенные для выполнения работ средней тяжести; III категория – сооружения, предназначенные для выполнения тяжелых работ; IV категория – подземные сооружения типа складов и холодильников.

лучения практически сухой выработки отвечает требованиям эргономики по температурному и влажност-ному фактору.

Следовательно, необходимо обоснование этих требований к обделкам подземных сооружении, которые позволили бы обеспечить их высокую надежность с точки зрения водонепроницаемости, стойкости к фильтрующим потокам минерализованных и неминерализованных вод и устойчивости.

Возможность таких обоснований подтверждается данными, полученными при исследованиях в смежных отраслях строительства.

Так, в работах Ю.В. Чеховского [4], [5] доказано, что перенос жидкости и газа по неплотностям – порам бетона – может осуществляться в виде вязкостного пуайзелевского и молеку-лярного (капиллярного) потоков, а также за счет молекулярной диффузии (тепломассопереноса). Каждый из этих видов переноса флюида возникает в зависимости от преобладающего размера пор, хотя в целом имеет место смешанный механизм переноса. То есть все виды переноса соотносятся с определенным радиусом пор и коэффициентом фильтрации материала. Эти соотношения приведены в табл. 3.

При вязкостном потоке происходит растворение и перенос гидроксида извести и других продуктов гидратации цемента, что и приводит к разложению бетона. Для молекулярного потока характерно диффундирование в бетон агрессивных компонентов, растворенных в воде под влиянием разности концентраций и его постепенное разрушение.

В случае молекулярно диффузии (тепломассопереноса) коррозийные процессы сводятся к минимуму.

Полагается, что при коэффициенте фильтрации материала несущих конструкций менее 10^{-7} см/с процессы инфильтрации практически останавливаются, поэтому указанный коэффициент фильтрации соответствует наиболее ослабленным элементам обделки.

В случае, когда через 1 см^2 конструкции обделки фильтруется 1 см^3 воды в час, вероятнее всего будет иметь место ламинарный поток при полном насыщении пор и капилляров материала жидкостью.

Как следует из работы [2] прочность бетона под влиянием его водо-

насыщения снижается. Это снижение имеет сложный характер. Согласно исследованиям З.Н. Цилосани образцы бетона при влажности 2-4 % имеют минимум, а при 12-14 % максимум прочности. Результаты исследований кернов различных зон Ондской плотины и ДнепроГЭС, проведенные М.Б. Петровским и Л.Р. Веревкиным, свидетельствуют о линейном изменении прочности в зависимости от влажности, причем при увеличении влажности от 2 до 12 % прочность снизилась почти в 2 раза.

Влияние динамических нагрузок на водонасыщение бетона, экспериментально установленные О.П. Мчедаловым-Петросяном, отражают тот факт, что водонасыщение, например, железобетонных шпал до 4 % приводит к потере более 30 % их прочности при линейной зависимости прочности материала от его влажности.

Результаты исследований И.Н. Ахвердова показывают, что при полном водонасыщении прочность бетона в зависимости от его пористости снижается до 20-60 %. Для железобетонных конструкций канализации им рекомендованы такие В/Ц бетона, при которых пористость цементного камня бетона не превышает 11 %. Такая степень пористости характерна для бетона с порами диаметром менее 10^{-5} см [4], что соответствует переносу влаги посредством молекулярной диффузии или тепломассопереноса (табл. 3).

На основании обобщающих результатов исследований К.А. Мальцов предложил линейную зависимость прочности бетона при сжатии от влажности.

Таким образом, потеря прочности бетона при его фильтрационном водонасыщении определяется условием соответствия водонепроницаемости самого слабого элемента несущих конструкций подземного сооружения величине $К_ф = 10^{-7}$ см/с. Только в этом случае исключается прорыв воды в подземное сооружение, вынос в него грунта, просадки, оседания и разрушение конструкций при неравномерной и значительной водопроницаемости породного массива.

Равновесие чрезвычайно подвижной системы «геологическая среда – подземное сооружение» зависит, таким образом, от состояния слагающих ее компонентов. Подземные воды, как наиболее подвижный компонент этой системы являются одной из основных причин снижения надежности и долговечности подземного сооружения.

Борьба с фильтрацией и миграцией подземных вод в сооружение чаще всего сводится к повышению гидроизоляционных свойств обделок. Однако такой способ защиты не всегда является целесообразным, экономичным и единственно возможным. Более того, посредством совершенствования типов обделки не всегда удается полностью решить проблему допустимого влажностного режима на том или ином подземном объекте. Поэтому наиболее действенным реше-нием является вовлечение в работу элементы системы «массив горных пород – подземное сооружение» и управление фильтрационными свойствами не только обделки, но, прежде всего, самого породного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Коржук А.Н.* О расчете прочности и водонепроницаемости бетонной крепи шахтных стволов //В сб. «Горное давление и крепь вертикальных стволов». – М.: Стройиздат, 1975.

2. *Вербецкий Г.П.* Прочность и долговечность бетона в водной среде. – М.: Стройиздат, 1976.

3. *Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев А.А.* Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980.

4. *Чеховский Ю.В.* Понижение проницаемости бетона. – М.: Энергия, 1968, 190 с.

5. *Чеховский Ю.В., Рейтлингер С.А.* Механизм переноса газов и жидкостей через бетон и методы исследования структуры пор. – М.: Недра, 1961.

6. *Заседателев М.Б., Петров-Денисов В.Г.* Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. – М.: Стройиздат, 1973.

7. *Вяльцев М.М.* Прогноз и регулирование термонапряженного состояния горных выработок. – М.: Недра, 1988, 200 с.

8. *Вяльцев М.М.* Температурные напряжения в крепи шахтных стволов и окружающих породах. – М.: ЦНИЭИуголь, 1975, 65 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Куликова Елена Юрьевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

Р У К О П И С И ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

1. *Подбиралина Г.В.* Анализ субрегионального сотрудничества в Африке (583/07-07 — 17.04.07) 17 с.
2. *Ачалова Л.В.* Немецкая модель социально-рыночного хозяйства: этапы становления теоретические основы концепции и необходимость ее модернизации (584/07-07 — 17.04.07) 9 с.