

УДК 622.504; 622.882; 622.142

**Б.А. Картозия, С.А. Мельникова, А.А. Мишелченко,
А.В. Томилин**

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ МАССИВА ПО ГОРНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Приведена систематизация и обоснование горно-технологических критериев, которые необходимы для оценки существующих технологий строительства подземных сооружений. Методология этой оценки позволит перейти к созданию экспертной системы оценки различных проектов строительства подземных объектов с точки зрения надежности, экологичности, технологичности и финансовых затрат. Ключевые слова: подземное строительство, сложные горно-геологические условия, горно-технологические критерии, способы и методы подготовки массива.

Основная цель всех существующих методов и способов подготовки массива — создание оптимальных условий для ведения горно-строительных работ для строительства подземного сооружения.

Формирование устойчивой системы «подземное сооружение — окружающая среда» и выбор оптимального варианта невозможны без сопоставления всех компонентов процесса строительства на основании горно-технологических критериев в цепочке «параметры подземного объекта → горно-геологические условия → методы и способы подготовки массива → способы разработки массива → способы строительства объекта».

В ранее разработанной классификации [1,2] следующие пять типов критериев отнесены к горно-технологическим:

- критерии типа сложности условий;
- критерии степени сложности условий;

- критерии для выбора метода подготовки массива;
- критерии для выбора способа подготовки массива;
- критерии для выбора способа строительства объекта.

Рассмотрим горно-технологические критерии для сложных горно-геологических условий:

Сложные горно-геологические условия строительства подземных сооружений могут быть сложными геомеханическими (когда породы массива пучащие или сильно нарушенные) и сложными гидрогеологическими (когда массив вокруг выработки обводнен). Каждый тип сложности горно-геологических условий описывается своей группой критериев.

Для оценки степени сложности гидрогеологических условий (степени обводненности массива горных пород) используется следующая группа критериев:

- предельная глубина расположения водоносного горизонта;

- коэффициент фильтрации пород;
- величина раскрытия трещин;
- величина удельного водопоглощения.

Так, например, при водопонижении критериями степени сложности гидрогеологических условий являются предельная глубина расположения водоносного горизонта и коэффициент фильтрации пород ($K_f \geq 1$ —2 м/сут), а при цементации горных пород — величина раскрытия трещин ($K_{тр} = 0,2$ —50 мм) и величина удельного водопоглощения ($K_v > 0,01$ л/мин) [3, 4, 5].

Критериями при выборе метода подготовки массива (либо предварительное упрочнение массива, либо без него) являются глубина заложения объекта, его объемно-планировочное решение, плотность наземной инфраструктуры, коэффициент фильтрации пород и др.

Критерии выбора способа подготовки массива (спецспособа) — прочность укрепленного массива (на период строительства или срок службы объекта) и совместимость применяемых способов воздействия на массив с требованиями экологической безопасности.

Критерии экологической надежности — это предельно допустимые концентрации (ПДК) для воды и почвы токсичных компонентов, входящий в состав материалов, используемых в применяемых технологических процессах.

В традиционных способах уплотнения пород (механическое уплотнение, цементация, глинизация, силикатизация) отсутствуют регламентируемые токсичные вещества.

Анализ состава основных средств химического закрепления пород (смо-

лизация, битумизация), используемых при строительстве городских сооружений (табл. 1), показывает, что при применении способа смолизации можно ожидать поступление в массив и воду токсичных мономеров, которые всегда присутствуют в смолах вследствие неполной полимеризации исходных компонентов [6]:

- в мочевино-формальдегидных (карбамидных) — формальдегид;
- в фенольно-формальдегидных — фенол и формальдегид;
- в фурановых — хлорпрен или дивинилстирол и формальдегид;
- в эпоксидных — полиэтиленполиамид;
- при битумизации использование токсичных растворителей.

Концентрация этих токсичных веществ в массиве и в воде в несколько раз, а в ряде случаев и на несколько порядков, превышают ПДК для воды и почвы.

В связи с тем, что области применения механического уплотнения, цементации, глинизации и силикатизации охватывают весь спектр возможных горно-геологических условий, следует отказаться от таких экологически нецелесообразных способов уплотнения пород, как битумизация и смолизация, или применять их только в тех случаях, когда использование иных способов невозможно.

Критерий выбора способа разработки массива — прочность укрепленного массива.

Кроме основных критериев каждому технологическому процессу соответствуют свои дополнительные критерии, несоблюдение которых повышает риск возникновения аварийных ситуаций.

Таблица 1

Области применения битумизации и смолизации для уплотнения пород, применяемых при строительстве городских подземных сооружений

Способ уплотнения и последовательность проведения работ	Область применения
1. Битумизация Нагнетание горячего битума	Трещиноватые и кавернозные породы (трещины до 0.2 мм), гравелисто-галечниковые породы, 60м/сут
2. Смолизация (придает закрепляемым породам прочность на сжатие, равную порядка 2,0-4,0 МПа)	
2.1. Мочевино-формальдегидные смолы Последовательное нагнетание растворов кислоты и смолы; возможно нагнетание раствора, уже содержащего смолу и отвердитель	Кислые песчаные породы с $0.5 \text{ м/сут} < K_{\phi} < 6 \text{ м/сут}$ при содержании в них глинистых частиц или карбонатов не более 3 % по массе.
2.2. Фенол-формальдегидные смолы Нагнетание раствора, смолу и отвердитель	Переувлажненные, гумусированные и карбонатные породы, как кислые так щелочные
2.3. Фурановые смолы Приготовление смеси и последовательное нагнетание ее; Количество смеси рассчитывается на одну заходку	Малопроницаемые песчаные породы с $3 \text{ м/сут} < K_{\phi} < 5 \text{ м/сут}$
2.4. Лигносультитохромовые смолы Нагнетание раствора, содержащего ССБ и двуххромовокислый натрий или сернокислый алюминий	Долинные породы, торф с $K_{\phi} > 0.5 \text{ м/сут}$.
2.5. Латексы Нагнетается смесь раствора карбамидной смолы и латекса хлопчатенного или дивинилстирольного	Карбонатные пески
2.6. Эпоксидные смолы Нагнетается смесь раствора эпоксидной смолы и отвердителя	Пески, лессы, лессовидная глина, тяжелый суглинок
2.7. Акриламиды Нагнетается смесь раствора акрилата и отвердителя	Мелкозернистые, средне- и крупнозернистые пески и трещиноватые породы

Таблица 2

Пределы прочности при сжатии для различных типов пород

Породы, насыщенные водой	Пределы прочности при сжатии (в МПа) при температуре, °С				
	от -1 до -5	от -5 до -10	от -10 до -15	от -15 до -20	от -20 до -25
Песок	0.25-0.85	0.85-1.27	1.27-1.44	1.44-1.52	1.52-1.8
Супесь	0.2-0.65	0.65-0.88	0.88-1.05	1.95-1.22	1.22-1.4
Глинистые породы	0.15-0.45	0.45-0.6	0.6-0.75	0.75-0.95	0.95-1.0
Пылеватые породы	0.1-0.15	0.15-0.35	0.35-0.45	0.45-0.65	0.65-0.7

Таблица 3

Контролируемые показатели при производстве работ по искусственному замораживанию пород [8]

Технические требования	Предельные отклонения	Контроль (метод и объем)
1. Линейные отклонения от заданного направления замораживающих скважин: а) для вертикальных скважин б) для наклонных скважин	Не более 1 % глубины Не более 2 % глубины	Измерительный (через каждые 30 м)
2. Отклонения от расположения скважин в плане	± 5 см	Измерительный, каждая скважина
3. Герметичность холодильной установки а) давление при гидравлическом испытании стыка каждой наращиваемой трубы и башмака замораживающей колонки на герметичность б) измерение уровня залитой в колонку жидкости в) давление при испытании на герметичность сжатым воздухом после монтажа замораживающей системы в целом	Не менее 2.5 МПа Колонка считается герметичной, если в течение трех суток уровень жидкости в ней не изменится более чем на 3 мм Система считается герметичной, если в течение первых 6 часов	То же, с регистрацией в журнале То же, измерение уровня жидкости в каждой колонке с регистрацией результатов измерений в журнале То же, под наблюдением за давлением в системе при испытании ее на герметичности сжатым воздухом под давлением 1.2 МПа для всасывающей стороны и 1.8 МПа – для нагнетательной
4. Температура выходящего из колонки холодоносителя при установившемся режиме работы системы	Не должна отличаться более чем на 3°C от температуры холодоносителя, измеренной в распределителе (на каждые 100 м глубины замораживания); к концу замораживания не более чем на 1°C	То же, непрерывный
5. Достижение проектных размеров и сплошности ледогрунтового ограждения при производстве работ по замораживанию грунтов	Наличие отрицательной температуры во всех термометрических скважинах, расположенных в пределах ледогрунтового ограждения Подъем уровня воды в гидрогеологических скважинах в замкнутом контуре Стабильность температуры холодоносителя По указаниям ультразвукового прибора	Измерительный, каждая свая Фиксацией подъема уровня воды Измерительный, периодический То же

В качестве примера, рассмотрим способ воздействия на массив — замораживание.

Основным критерием этого способа является прочность пород, которая зависит от состава пород и способа замораживания (таб. 2) [7].

Как следует из приведенных данных, прочность замороженных пород различного типа колеблется в широких пределах и, безусловно, будет влиять на выбор способа разработки массива. Для начала работ по разработке массива прочность на сжатие ледопородного ограждения должна быть не ниже 1.2 МПа.

Дополнительные критерии можно определить, проведя постадийный анализ технологического процесса и

выявляя для каждой стадии свои критерии (таб. 3).

Оптимальные критерии должны использоваться для обоснования выбора способа подготовки массива при проектировании подземных сооружений различного назначения в г. Москве. [9].

Таким образом, предложенная методология позволяет:

— использовать горно-технологические критерии для выбора технологии подготовки массива в различных горно-геологических условиях;

— перейти к созданию экспертной системы, которая позволит оценивать различные проекты строительства подземных объектов с точки зрения надежности, экологичности, технологичности и финансовых затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корчак А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений — М.: Недра коммюникейшнс ЛТД, 2001 — 416 с.

2. Картозия Б.А., Корчак А.В. Классификация и критерии оценки сложных горно-геологических условий при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень — МГУ — 1996 — №1- с.15-23.

3. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. — М.: Стройиздат, 1978. — 239 с.

4. Дорман Я.А. Специальные способы работ при строительстве метрополитенов, — М.: Транспорт, 1981, 302 с.

5. Маковский Л.В. Городские подземные сооружения мелкого заложения в водонос-

ных грунтах // Подземное пространство мира. — 1999 — № 5-6 — с. 28-32.

6. Ржаницын Б.А. Химическое укрепление грунтов в строительстве. М.: — Стройиздат, 1986, 264 с.

7. Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей. ВСН 189-78, Ответственный за выпуск Дорман Я.А., М.: — Минтрансстрой, 1978.

8. СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.

9. Картозия Б.А., Корчак А.В., Левченко А.Н., Федунец Б.И., Дмитриев А.Н. и др. О перспективах разработки нормативных документов по освоению городского подземного пространства // Метро и тоннели, 2007, №4, С. 4—8. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Картозия Борис Арнольдович — доктор технических наук, профессор,
Мельникова Сафият Абдулхаковна — кандидат технических наук, инженер,
Мишедченко Анатолий Анатольевич — ведущий инженер, аспирант,
Томилини Александр Владимирович — кандидат технических наук, ассистент,
Шубик Елена Игоревна — ведущий программист.
Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

