Б.А.Картозия, Е.Ю.Куликова
Московский горный университет

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ И ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА КОММУНАЛЬНЫХ ТОННЕЛЕЙ С ПОЗИЦИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Система инженерно-экологического обеспечения нормального функционирования системы коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда должна иметь в своем составе такие способы и меры по обеспечению инженерной защиты окружающей среды, которые гарантировали бы максимум экологической безопасности при минимальных затратах природных ресурсов. При этом возникает задача экологической оптимизации освоения подземного пространства, решение которой может быть получено только при грамотном обосновании областей применения технологий и способов строительства коммунальных подземных сооружений.

The system of engineering-and-ecological control of the normal operation of the municipal tunnel–massif–technology–environment system must have as its part such methods and measures to ensure engineering environmental control that would guarantee the maximal ecological safety as a result of minimum expenditures of natural resources, this leading to the solution of the problem of the ecological optimization of the underground space development, that can be achieved only in case of a competent substantiation of the fields of application of practices and technologies of municipal underground structures construction.

Для обеспечения экологической безопасности коммунальных тоннелей целесообразным является деление коммунальных объектов на группы по уровню надежности (экологической, надежности несущих и ограждающих конструкций, технологической) и по температурно-влажностным условиям внутри коммунального объекта.

Допустимые и оптимальные параметры микроклимата для тех типов коммунальных сооружений, где предусматривается проветривание, зависят от совокупного влияния соответствующих показателей вентиляционной струи в тоннеле и его тепловлажностного взаимодействия с вмещающим массивом горных пород. Это, прежде всего, относится к влажности воздуха в тоннеле. Абсолютная влажность (масса водяного пара, находящегося в 1 м^3 воздуха)

$$W_{\text{абс}} = W_{\text{абс}}^{\text{вс}} + W_{\text{абс}}^{\text{и}},$$

где $W_{\text{абс}}^{\text{вс}}$ – абсолютная влажность поступающей в коммунальное сооружение вентиляционной струи, г/м^3; $W_{\text{абс}}^{\text{и}}$ – абсолютная влажность воздуха в коммунальном сооружении, являющаяся результатом испарения

воды, просочившейся через несущие и ограждающие конструкции, г/м^3

Зная $W_{абс}$, можно найти количество влаги, поступившее через обделку тоннеля. При известных внутреннем объеме коммунального тоннеля V и площади сечения обделки в свету $S_{св}$, можно найти взаимосвязь между расходом $Q_в$ влаги, просочившейся через 1 м^2 обделки, и долей относительной влажности воздуха, которая добавляется за счет испарения просочившейся через обделку воды:

$$VW_{абс}^{и1} = S_{св} \cdot Q_в, \qquad (1)$$

$$W_{абс}^{и1} = nW_{абс}^{и};$$

где $W_{абс}^{и} = W_{абс} - W_{абс}^{вс}$; n – количество перемен воздуха в час.

Тогда, преобразуя соотношение (1) получим

$$Q_в = \frac{W_{абс}^{и1}}{M}, \qquad (2)$$

где $M = S_{св}/V$ – модуль поверхности.

Из формулы (2) следует, что с ростом модуля поверхности уменьшается допустимое количество влаги, которое может профильтровываться в коммунальный тоннель через обделку. Учитывая, что больший модуль поверхности характерен для менее габаритных сооружений, можно сделать вывод о необходимости использования более плотного материала несущих конструкций (с меньшим коэффициентом фильтрации) при строительстве коммунального тоннеля меньшего сечения и протяженности. Следовательно, нормальные температурно-влажностные параметры в коммунальном тоннеле могут быть обеспечены за счет его герметизации, т.е. высокой водонепроницаемости несущих конструкций. В свою очередь, безотказность работы несущих конструкций обязательно предполагает их устойчивость, а также оптимальный характер взаимодействия с массивом окружающих горных пород. Таким образом, экологическая надежность находится в неразрывной связи с надежностью несущих конструкций городских подземных сооружений и с технологической надежностью.

Обеспечение экологической надежности коммунального объекта должно основываться на комплексе защитных мер, направленных на вовлечение в работу свойств самого тоннеля и породного массива, а также технологических приемов его строительства, поддержания и эксплуатации. Таким образом, требования, предъявляемые к коммунальным тоннелям, сводятся к следующим:

- исключение или сведение к минимуму ущерба, наносимого техногенным вмешательством в окружающую среду при ведении горно-строительных работ;
- обеспечение наиболее рационального и безопасного функционирования городской среды;
- надежность работы коммунальных подземных объектов, что подразумевает достаточную устойчивость несущих и ограждающих конструкций; фильтрационную надежность; оптимальный характер взаимодействия коммунального тоннеля с массивом горных пород, исключающий развитие дефектов в обделке и гидроизоляции сооружений и минимизирующий поступление вредностей из коммунального тоннеля в окружающую среду;
- снижение вероятности возникновения условий, ведущих к дисбалансу в искусственной экосистеме породный массив коммунальный объект.

Техногенные нагрузки, формирующиеся при строительстве коммунальных тоннелей, вызывают те или иные сдвиги в элементах окружающей среды. Поэтому важное научное значение приобретает оптимизация ограничений на применение технологий и способов строительства коммунальных тоннелей. Решение задачи может развиваться по двум направлениям:

- определение области оптимизации качества подземного строительства по заданным критериям, например, по обоснованию областей применения технологий и способов строительства или по критерию экологической надежности системы;
- определение принципиальных условий создания экологически безопасного строительного комплекса по критериям ка-

чественно-количественной минимизации техногенных нагрузок на элементы природной экосистемы.

Экологическая оптимизация коммунального строительства по какому-либо показателю качества принятой технологии может быть реализована в виде

$$\Omega_e = \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\omega_{i[a_e,b_e]}}{\omega_{N_i}}\right)\right] \to \text{opt},$$

где Ω_e – интегральная оценка качества строительного комплекса с учетом комплексного показателя состояния искусственной экосистемы коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда; ω_{Ni} – нормированное значение i-го параметра качества технологического процесса; $[a_e, b_e]$ – заданные экологические ограничения; ω_i – параметры качества принятой технологии.

В процессе формирования экосистемы коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда (стадия строительства) неизбежны экологические потери, связанные с двумя обстоятельствами:

- непосредственным воздействием технологических процессов и производительных сил (горно-строительная техника, люди, обслуживающие объект, источники энергии и т.п.) на компоненты природы;
- использованием объектов природы в регионе подземного строительства (использование природных ресурсов в технологическом цикле).

Каждое из этих обстоятельств может быть выражено количественной мерой экологических потерь. Идеальный вариант выбора соответствующей технологии и организации строительного процесса соответствует минимальным экологическим потерям. При этом система коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда в рассматриваемой ситуации будет обладать максимальной экологической безопасностью. Ситуация с наибольшим экологическим риском, как правило, складывается к моменту окончания технологических процессов строительного комплекса и при отсутствии соответствующих мероприятий инженерной защиты.

При формировании технологических ограничений необходимо учитывать факторы, отрицательно влияющие на природную экосистему в результате применения той или иной технологии: геомеханические нарушения земной поверхности и породного массива; изменение режима подземных вод, истощение водоносных горизонтов; изменение системы переноса вещества и химических взаимодействий, растворение и разложение субъектов массива; изменение электрических полей в подземном пространстве, появление блуждающих токов; усиление биологической коррозии сооружений; заражение массива болезнетворными организмами; миграция загрязняющих веществ в окружающую среду; развитие суффозионных явлений, плывунов и псевдоплывунов, оползневый и т.п.

Проектирование экологически безопасных коммунальных тоннелей предопределяет обеспечение устойчивости нормированных показателей Δ_e к предельным значениям техногенных свойств окружающей среды:

$$\Delta_e = U_э - U_т,$$

где $U_э$ уровень экологической защиты, $U_э = U_{э.и} + U_{э.п}$; $U_{э.и}$ – уровень защиты, обусловленный искусственными инженерными мерами; $U_{э.п}$ – уровень защиты, обусловленный естественными возможностями самовосстановления объектов природы; $U_т$ уровень техногенного воздействия проектируемого коммунального объекта.

Одним из основных критериев экологической безопасности технологий и способов строительства коммунальных объектов является минимум возможных техногенных изменений в системе при применении данного способа или технологии. Критерий работает при следующих условиях:

- минимизации срока строительства коммунальных объектов. Это условие обеспечивает минимальные экономические потери, вызванные нестационарной составляющей строительного техногенеза;
- минимизации стационарной составляющей техногенного потока, обеспечиваемой минимальными экологическими нагрузками и техногенными воздействиями со

стороны построенных коммунальных объектов. Данное условие достигается стабильностью технологии строительства и высоким нормативным качеством сооружаемых коммунальных объектов.

Таким образом, выбор технологии строительства, обеспечивающей экологическую безопасность коммунального объекта, должен осуществляться в рамках системы инженерно-экологического обеспечения подземного строительного комплекса, которая включает экологически обоснованные требования к коммунальным подземным объектам; решение задач оптимального проектирования с точки зрения экологической безопасности; оптимизацию выбора технологии и способа строительства коммунального объекта; организацию экологически безопасных технологических процессов; количественную оценку текущих и долговременных последствий в районе размещения коммунального тоннеля; научный подход к выбору мероприятий инженерной защиты окружающей среды; решение задач рационального природопользования. При этом самой важной становится проблема опережения природоохранного обеспечения работы системы коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда. Если стратегия опережающего природоохранного обеспечения выбрана неправильно, без учета спектра природных и технологических факторов и специфики коммунального подземного строительства, может возникнуть ситуация, характеризуемая экологическим риском:

$$R = P_o У_o,$$

где P_o – вероятность воздействия загрязненного природного объекта на население и территорию; $У_o$ – ожидаемый ущерб.

В результате осуществления комплекса мер по нейтрализации «угрозы» со стороны загрязненного природного объекта вероятность реализации угрозы и величина ожидаемого ущерба должны быть снижены до значений P'_o, $У'_o$. Для последующего обоснования комплекса мер по нейтрализации угроз со стороны загрязненного объекта целесообразно пользоваться величиной ожидаемого предотвращенного риска:

$$DR = (P_o - P'_o)(У_o - У'_o).$$

Сопоставление указанной величины с предполагаемыми затратами на реализацию комплекса мер инженерной защиты позволит оценить эффективность предлагаемых мер.

Формирование опережающей природоохранной стратегии, таким образом, предполагает соблюдение двух требований:

- выполнение работ и выработка конкретных решений по инженерной защите окружающей среды с временным опережением по формирующим стадиям технологического цикла. Это условие достигается за счет планирования инженерно-экологического и технологического циклов, четкой организации подземного строительства и тщательного подбора технологии для данных условий;
- обеспечение гарантированного природоохранного потенциала на каждой стадии работы системы коммунальный тоннель – массив – технология – окружающая среда.