

МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ
СООРУЖЕНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТОННЕЛЕЙMETHODS OF SELECTION OF EFFECTIVE OPTIONS FOR
BUILDING COMMUNICATION TUNNELS

Особенность подземных сооружений, в том числе коммуникационных тоннелей, заключается в выявлении, управлении и организации работ по их сооружению и поддержанию в течение длительного времени их эксплуатации. Проведенный мониторинг Мосводоканалпроектом по эксплуатации коллекторных тоннелей показывает, что за период их эксплуатации происходят частичные или полные отказы конструкции крепи коллекторов. Проведенные исследования показывают, что отказы имеют не детерминированный, а стохастический характер и возрастают с увеличением срока функционирования тоннелей (рис. 1). При этом темпы прироста количества поврежденных участков при эксплуатации тоннелей за пределами 40-летнего периода приводят к разрушению конструкции.



Рис. 1. Оценка динамики надежности функционирования системы коллекторных тоннелей в период их эксплуатации

Проведенный анализ позволяет разделить весь период эксплуатации тоннелей на шесть зон риска: I – зона безрисковая; II – зона минимального

риска; III – зона допустимого риска; IV – зона критического риска; V – зона катастрофического риска; VI – зона разрушений (рис. 1). В результате установлено, что средства на капитальные и профилактические ремонты системы коммуникационных тоннелей необходимо выделять, начиная с момента ее перехода из зоны допустимого в зону критического риска, то есть с 15 года эксплуатации тоннелей до периода их окончательного закрытия. Таким образом, сложившаяся ранее идеология «безремонтного поддержания» горных выработок себя не оправдала. Ремонт профилактический или капитальный должен предусматриваться в период эксплуатации подземных сооружений.

Проведенные исследования по техническим отказам, возникающим в процессе функционирования тоннелей, позволяют принимать управленческие решения по поддержанию тоннелей за рассматриваемый период их жизнедеятельности. Однако исследования по техническим отказам не позволяют оценить величину экономических потерь от возникновения негативных событий. Для принятия обоснованных решений авторами статьи произведена оценка и определена вероятность величины экономического ущерба в период эксплуатации коммуникационных тоннелей. На рисунке 2 показана динамика изменения величины ущерба в зависимости от ожидаемого показателя риска.

Как видно из графика, через 25 лет функционирования тоннелей величина ожидаемого ущерба будет равна остаточной стоимости тоннелей и за пределами этого периода необходима замена всей системы коммуникационных тоннелей. Графики, приведенные на рисунках 1 и 2, показывают, что предельный срок функционирования системы коммуникационных тоннелей по техническим возможностям находится в зоне катастрофического риска. При этом период эксплуатации тоннелей может составить 35-40 лет.

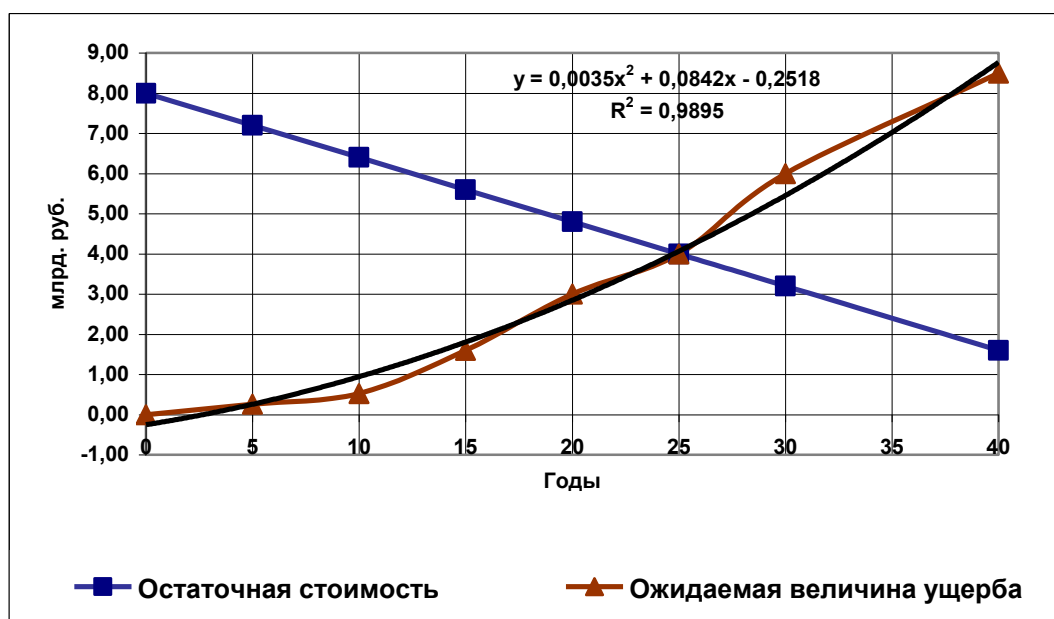


Рис. 2. Влияние экономических рисков на период функционирования системы коллекторных тоннелей

С точки зрения экономической эффективности срок функционирования коммуникационных тоннелей составляет 25 лет, то есть на 10 – 15 лет меньше. Следовательно, оценку периода функционирования системы коммуникационных тоннелей необходимо производить по экономическим показателям, учитывающим изменение величины вероятного ущерба с увеличением сроков эксплуатации тоннелей.

Таким образом, с учетом проведенных исследований по поддержанию коммуникационных тоннелей величину формирующихся прямых доходов и расходов в период их эксплуатации (D_3) можно представить в виде формулы:

$$D_3 = \sum_{t=K+1}^T \frac{(\Pi_t - C_t) \times Q_{tt} \times K_H + O_{см} \cdot t + A_t}{(1 + E)^t} - \sum_{t=15}^T \frac{S_{kpt}}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где Π_t – цена единицы транспортировки ресурсов, руб.;

C_t – себестоимость транспортировки единицы ресурсов, руб.;

Q_{tt} – годовая пропускная способность тоннелей, ед.;

K_H – коэффициент, учитывающий снижение прибыли, с учетом налога на прибыль 20% ($K_H = 0,80$);

$O_{см}$ – остаточная стоимость основных фондов, руб.;

A_t – величина амортизационных отчислений на восстановление основных фондов, руб.;

S_{kpt} – годовые затраты на поддержание тоннелей, руб.;

$(t = K + 1; T)$ – период эксплуатации коммуникационных тоннелей, лет;

$(t = 15; T)$ – период выделения затрат на поддержание коммуникационных тоннелей, лет;

E – принятая величина нормы дисконта, годовая.

В предлагаемой экономико-математической модели предусматривается третья составляющая – вероятность возникновения дополнительных затрат в процессе эксплуатации коллекторных тоннелей. Специфика геотехнологических условий функционирования коммуникационных тоннелей заключается во взаимодействии горного массива и крепи тоннеля, которая в процессе эксплуатации подземного сооружения приводит к его частичному или полному разрушению. Следовательно, возникают специфические риски, характерные для подземных сооружений, которые необходимо учитывать в модели как вероятность экономического ущерба, связанного с ликвидацией негативных последствий от разрушения тоннеля. Величина ожидаемого экономического ущерба от отказов в системе коммуникационных тоннелей может быть определена как:

$$C_{ущерб} = [(\Pi - C_p) q t_{вос} + S_{вос} + S_k + S_{эк}] P_{от}, \quad (2)$$

где Π – цена транспортировки единицы ресурсов по тоннелю, руб./ед.;

C_p – издержки по транспортировке единицы ресурсов, руб./ед.;

q – уменьшение объемов транспортировки ресурсов при наступлении

отказа, ед./лет, мес.;

$t_{\text{вос}}$ – период восстановления тоннеля, лет, мес.;

$S_{\text{вос}}$ – затраты на восстановление тоннеля, руб.;

S_k — компенсационные выплаты предприятиям, у которых ухудшились экономические показатели, руб.;

$S_{\text{эк}}$ – плата, возмещающая экологический ущерб, руб.;

$P_{\text{от}}$ – вероятность наступления отказа, доли ед.

С учетом изложенного экономико-математическая модель оценки ожидаемого экономического эффекта по рассматриваемым вариантам сооружения городских коммуникационных тоннелей имеет следующий вид:

$$\Delta_{\Phi j} = - \left\{ \left[\Pi_{0j} \times (r_{r_{bj}} + r_{k_{bj}}) \times k_{\text{пер}j} \right] + \sum_{t=0}^T \frac{(K_{\text{стр}j} + K_{\text{соп}j})}{(1+E)^t} \right\} + \sum_{t=K+1}^T \frac{(\Pi_{tj} - C_{tj}) \times Q_{tj} \times K_{\text{н}} + O_{\text{см}tj} + A_{tj}}{(1+E)^t} - \sum_{t=15}^T \frac{S_{\text{кр}tj}}{(1+E)^t} - \sum_{t=K+1}^T \frac{[(\Pi_{tj} - C_{\text{р}tj}) \Pi_{tj} t_{\text{вос}j} + S_{\text{вос}} + S_{\text{к}tj} + S_{\text{эк}tj}] P_{\text{от}tj}}{(1+E)^t}$$

где $(t=0; T^j)$ – период осуществления первоначальных капитальных вложений, лет.

Условия ограничений:

1. $t_{\text{на}} \leq t_{\text{сд}}$, срок сдачи тоннелей в эксплуатацию должен быть меньше или равным сроку сооружения объекта, установленному по договору с заказчиком;

2. $Z_{\text{ф}} \leq Z_{\text{д}}$, уровень фактических затрат на сооружение коммуникационных тоннелей должен быть меньше или равным уровню затрат, установленному по договору с заказчиком;

3. $K_{\text{проект}} \leq (0,1-0,15)K_{\text{стр}}$, по данным Мосводоканалпроекта стоимость проектных работ не должна превышать 10 – 15% от стоимости строительства тоннелей;

4. $S_{\text{кр}} < K_{\text{стр}}$, затраты на ремонт коммуникационных тоннелей не должны превышать затрат на их строительство;

5. $(t=15; T)$, затраты на поддержание коммуникационных тоннелей должны выделяться не позднее 15-го года их функционирования;

6. величина годовой нормы дисконта должна не превышать кредитной банковской ставки $\dot{A} \leq \dot{A}_{\text{ед}}$;

7. $\dot{Y}_{\delta} > 0$, ожидаемый экономический эффект по рассматриваемым вариантам должен быть положительным.

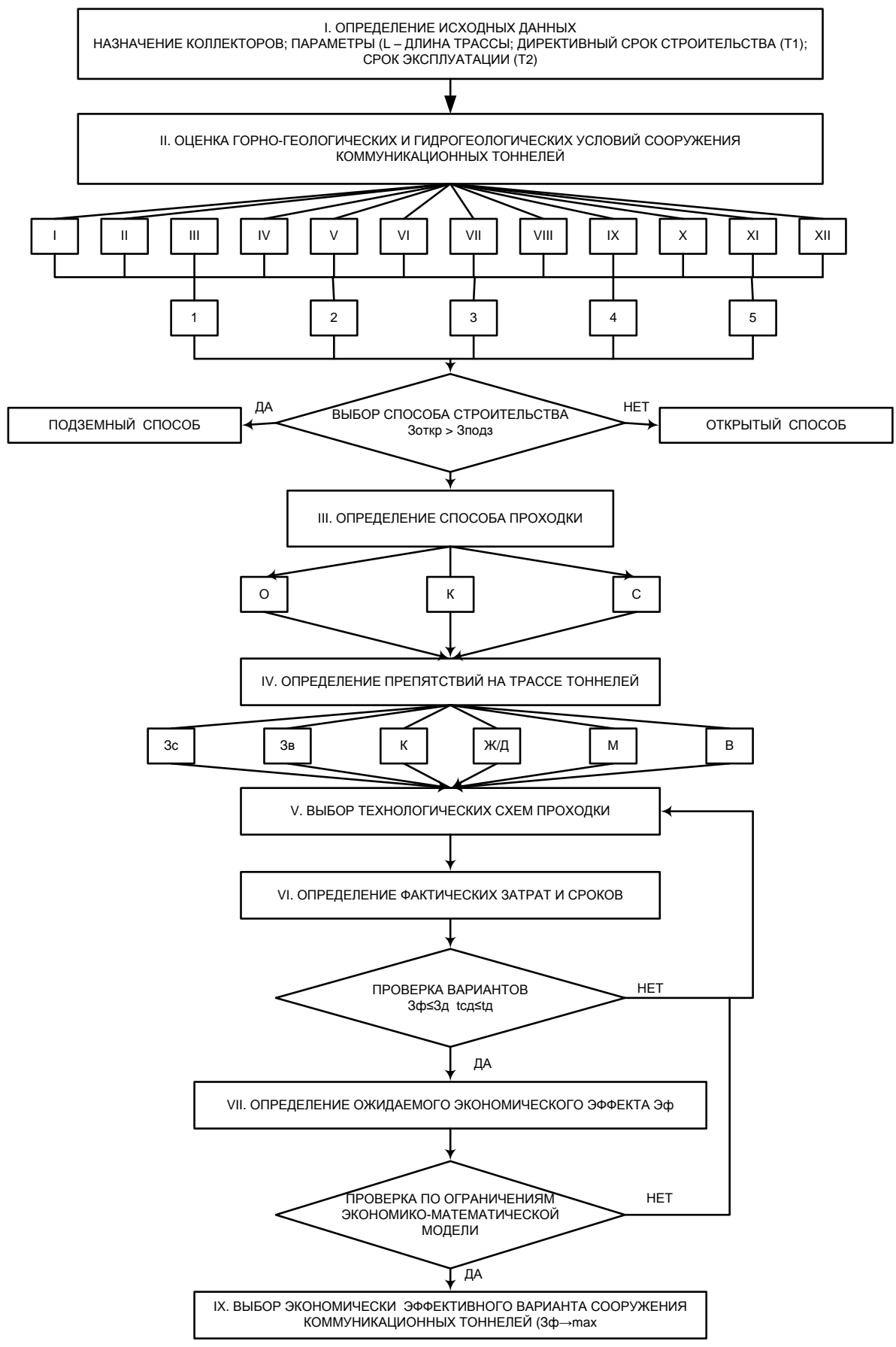


Рис. 3. Механизм оценки и выбора экономически эффективных вариантов сооружения городских коммуникационных тоннелей

Предложенный в работе алгоритм предварительного выбора вариантов сооружения городских коммуникационных тоннелей и разработанная экономико-математическая модель легли в основу механизма оценки и выбора экономически эффективных вариантов сооружения городских коммуникационных тоннелей (рис. 3).

Последовательности принятия решений заключается в поэтапном решении технических, технологических и экономических задач.

На первом этапе осуществляется определение исходных данных для проектирования коллекторного тоннеля, а именно: назначение коллекторного тоннеля, основные параметры, а также определяются директивный срок строительства и период эксплуатации подземного сооружения.

На втором этапе на основе оценки горно-геологических и гидрогеологических условий сооружения конкретного коллекторного тоннеля, а также прямых затрат на строительство, осуществляется выбор способа сооружения коммуникационного тоннеля.

Горно-геологические факторы имеют важное значение при выборе технологий проведения горных выработок при крепости пород в диапазоне $f = 0,5-3,0$ по шкале профессора М.М.Протоdjяконова. Породы неустойчивые, слабоустойчивые и среднеустойчивые. В данном случае применяются траншейный способ при небольших глубинах и подземный

способ с использованием щитовых комплексов с механизированным исполнительным органом (с пригрузом и без пригруза).

В геологическом отношении грунты Москвы и Подмосковья разделяются на три структурных этажа. Первый этаж (15 – 30 м) характеризуется отложениями кайнозоя, залегающими в виде пластов глин,

водоносных известняков, бводненных песков, мергелей, обводненных мергелей с коэффициентом крепости пород по профессору М.М.Протоdjяконову $f = 0,3-1,0$.

Второй этаж (30 – 50 м) включает отложения юрского возраста, характеризуется относительно выдержанным залеганием пород и состоит из мягкопластичных глин и тугопластичных суглинков с галькой и щебнем, коэффициент крепости от $f = 1,0-2,0$.

Третий :этаж (50 – 70 м) характеризуется отложениями каменноугольного периода, содержит доломиты, мергели, коэффициент крепости от $f = 1,3$ до 6,0 и выше. Учитывая, что на ближайшую перспективу намечается строительство коллекторов глубокого заложения, с аккумуляцией всех фекальных и отработанных вод с передачей их ва пять станций аэрации, их глубины заложения будут в пределах 120 м и выше. При такой глубине заложения крепость пород составит свыше $f = 6,0$ по шкале профессора М.М.Протоdjяконова, что при существующей технологии потребует применения буровзрывного способа проходки.

Гидрогеологические условия массива горных пород Центральной части России характеризуются значительными притоками воды, колебания которых составляют от 2,0 до 20 м³/час и выше, большими водопритоками и наличием песков, образующих естественные пливуны. Опыт горно-строительных работ показывает, что при притоках воды свыше 8 м³/ч требуется применение специальных способов строительства.

В случае принятия решения о применении подземного способа строительства определяются способ проходки (специальный способ, обычный способ, комбинированный способ) и наличие препятствий на трассе тоннеля. После чего осуществляется выбор технологических схем проходки.

Первый отбор вариантов производится на основе ограничений: величина фактических затрат на сооружение коммуникационных тоннелей не должна превышать установленного уровня затрат; срок сдачи тоннелей в эксплуатацию не должен превышать срок их сооружения, установленный по договору с заказчиком. На следующем этапе оценивается ожидаемый экономический эффект по вариантам сооружения коммуникационных тоннелей, отвечающим первому ограничению. Из вариантов, отвечающих установленным ограничениям экономико-математической модели, выбирается вариант с максимальной величиной экономического эффекта. Разработанный механизм позволяет на основе предложенной экономической оценки и системы ограничений осуществить выбор конкурентоспособного, экономически эффективного варианта сооружения коммуникационных тоннелей, обеспечивающего получение максимального экономического эффекта.

Проведенные расчеты с использованием предлагаемого механизма по ожидаемым срокам эксплуатации строящихся тоннелей, сопоставлялись с фактическими статистическими данными, Мосводоканала и ЗАО "Триада-холдинг" по эксплуатируемым коммуникационным тоннелям г. Москвы. Сравнение показало отклонение расчетных показателей от фактических сроков находится в пределах 5 – 10%, что соответствует требованиям норм технологического проектирования равнозначности сравниваемых вариантов. Предлагаемая методика определения срока службы коммуникационных тоннелей по экономическому фактору, рекомендуется для любых тоннелей, подземных горных выработок шахт и рудников.

Применение рекомендуемой методики для шахт и подземных сооружений позволит рационально планировать затраты на поддержание мощностей горных предприятий и подземных сооружений.

Литература

1. Лернер В.Г., Петренко Е.В. Систематизация и совершенствование подземных объектов. – М.: Изд-во "Тимр", 1999. – 185 с.
2. Осипов В.И. Зоны геологического риска на территории Москвы. // Вестник РАН, 1994. – №1.
3. Шибяев Е.В., Франкевич Ж.А. Оценка экономических и технических

рисков и взаимосвязь по эксплуатации горных выработок. – М.: ОАО ЦНИЭИуголь, научные труды №26, 2011. – 6 с.

Аннотация

В статье излагается методический подход к оценке экономических рисков и его применение при выборе эффективных вариантов сооружения коммуникационных тоннелей.

The paper presents a methodology for assessing the economic risks and its application in the selection of effective options for building communication tunnels.

Ключевые слова

зоны риска, коммуникационные тоннели, методика оценки, экономический риск, срок службы, модель оценки

areas of risk, communication tunnels, assessment method, economic risk, service life, the estimation model