

**Стельмахов Андрей Анатольевич**

канд. экон. наук, доцент

**Куликова Елена Юрьевна**

профессор

Горный институт

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

технологический университет «МИСиС»

г. Москва

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЫЧАГИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДОВ**

***Аннотация:** по мнению авторов, на этапах жизненного цикла системы «породный массив – технология – подземное сооружение» не всегда создается возможность для удовлетворения требований сокращения сроков и стоимостных показателей строительства при одновременной минимизации изменений равновесного состояния системы. Поэтому необходимо предварительное прогнозирование ущерба для окружающей среды в результате осуществления проекта на основе информации о динамике состояний системы «подземное сооружение – окружающая среда» в процессе жизненного цикла подземного сооружения.*

***Ключевые слова:** подземное сооружение, экологическая безопасность, технико-экономическая оценка, технология, оптимальное решение.*

На этапах жизненного цикла системы «породный массив – технология – подземное сооружение» не всегда создается возможность для удовлетворения требований сокращения сроков и стоимостных показателей строительства при одновременной минимизации изменений равновесного состояния системы. Поэтому необходимо предварительное прогнозирование ущерба для окружающей среды в результате осуществления проекта на основе информации о динамике

состояний системы «подземное сооружение – окружающая среда» в процессе жизненного цикла подземного сооружения.

Выбор оптимального варианта проектного решения определяется на основании расчетов приведенных затрат на технологические схемы при применении конкретной технологии строительства; ожидаемого годового ущерба, определяемого уровнем надежности данного варианта освоения подземного пространства для коммунальных нужд; ежегодных затрат и капитальных вложений в технологические схемы при применении конкретной технологии строительства. При прочих равных условиях предпочтительным является вариант с наименьшими суммарными приведенными затратами.

Общая эффективность мероприятий инженерной защиты окружающей среды от негативного влияния коммунального строительства определяется как отношение суммарного эффекта, являющегося следствием предотвращения местных ущербов с учетом фактора времени, к затратам на осуществление мероприятий. Обоснование варианта, создающего наилучшие условия обеспечения надежности как в экологической сфере, так и в сфере применения конкретной технологии строительства коммунального тоннеля, определяются расчетом общей эффективности.

Целенаправленное управление надежностью системы «породный массив – технология – подземное сооружение» должно строиться на ряде взаимосвязанных принципов. Основой является *принцип системности*. В соответствии с ним каждый отдельный процесс или этап рассматривается как элемент динамичной природно-технической системы «массив – технология – сооружение» с эколого-экономических позиций. Другим принципом является *комплексность использования ресурсов*. Этот принцип требует максимального использования всех компонентов сырья и потенциала энергоресурсов.

Одним из общих принципов является *цикличность материальных потоков*, т.е., например, создание систем замкнутого водо- и газооборотного снабжения на строительной площадке.

К не менее важным принципам управления надежностью системы «массив – технология – сооружение» относят *требование ограничения воздействия коммунального строительства на окружающую природную и социальную среды*, с учетом целенаправленного роста объемов освоения подземного пространства городов и экологического совершенства. Реализация этого принципа осуществима лишь в сочетании с эффективным мониторингом, развитым экологическим нормированием и многозвеньевым управлением природопользованием.

Общим принципом, вытекающим из предыдущего, является *рациональность организации подземного строительства*. Определяющими здесь являются требование разумного использования всех компонентов сырья, максимального уменьшения энерго-, материало- и трудоемкости производства; поиск новых экологически обоснованных технологий коммунального строительства. Конечной целью при осуществлении этого принципа является оптимизация строительства коммунальных сооружений одновременно по энерготехнологическим, экономическим и экологическим параметрам. Основным путем достижения этой цели являются разработка новых и усовершенствование существующих технологических процессов.

Выбор конкретной технологии строительства коммунального объекта осуществляется не только с позиций приемлемости и осуществимости технологии в конкретной обстановке, но и по следующим экономическим показателям.

1. Выбор оптимального варианта проектного решения. Приведенные затраты для каждого из рассматриваемых вариантов определяться как:

$$Z_{\Sigma} = Z_m + Z_c + V = I_m + EK_m + I_c + EK_c + V = I_m + I_c + E(K_m + K_c) \cdot V, \quad (1)$$

где  $Z_m$ ,  $Z_c$  – соответственно приведенные затраты при применении конкретной технологии строительства;  $V$  – ожидаемый годовой ущерб, определяемый уровнем надежности данного варианта освоения подземного пространства для коммунальных нужд;  $I_m$ ,  $I_c$  – соответственно ежегодные затраты при применении конкретной технологии строительства;  $K_m$ ,  $K_c$  – соответственно капитальные вложения при применении конкретной технологии строительства;  $E$  – коэффициент приведения.

При прочих равных условиях предпочтительным является вариант с наименьшими суммарными приведенными затратами [1]:

$$(I_m + I_c)_i + E(K_m + K_c)_i + Y_i = \min. \quad (2)$$

2. Сравнение вариантов проектных решений с различными уровнями надежности функционирования рассматриваемого коммунального объекта. Снижение (повышение) суммарных приведенных затрат определяется на основании выражения:

$$\Delta Z_{\Sigma} = (I_m + I_c)_1 - (I_m + I_c)_2 + E[(K_m + K_c)_1 - (K_m + K_c)_2] + (Y_1 - Y_2), \quad (3)$$

где индексы 1 и 2 относятся к составляющим затрат соответствующих вариантов.

3. Оценка эффективности дополнительных затрат на повышение уровня надежности рассматриваемого объекта коммунального строительства. Экономическая эффективность дополнительных капитальных вложений в повышение уровня надежности действующего коммунального объекта определяется как:

$$\Theta = \frac{(I_m + I_c)_1 - (I_m + I_c)_2 + (Y_1 - Y_2)}{K}, \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 относятся к ежегодным затратам и ущербам соответственно до и после дополнительных капитальных вложений.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определится из выражения:

$$T = \frac{K}{(I_m + I_c)_1 - (I_m + I_c)_2 + (Y_1 - Y_2)}. \quad (5)$$

Если  $T \leq T_n$  ( $T_n = 1/E_n$  – нормативный срок окупаемости капитальных вложений), то дополнительные капитальные вложения на повышение надежности работы объекта коммунального строительства оправданы.

#### 4. Определение ущерба.

Учет экологических и социальных последствий при проведении экономической оценки надежности коммунального строительства иногда представляет трудность в осуществлении. Это связано с тем, что даже при прогнозируемых последствиях денежная их оценка затруднена. Поэтому в представляемой оценке

используются лишь надежно оцениваемые составляющие ущербов. Разработанная нами блок-схема алгоритма такой оценки представлена на рис. 1 [3].

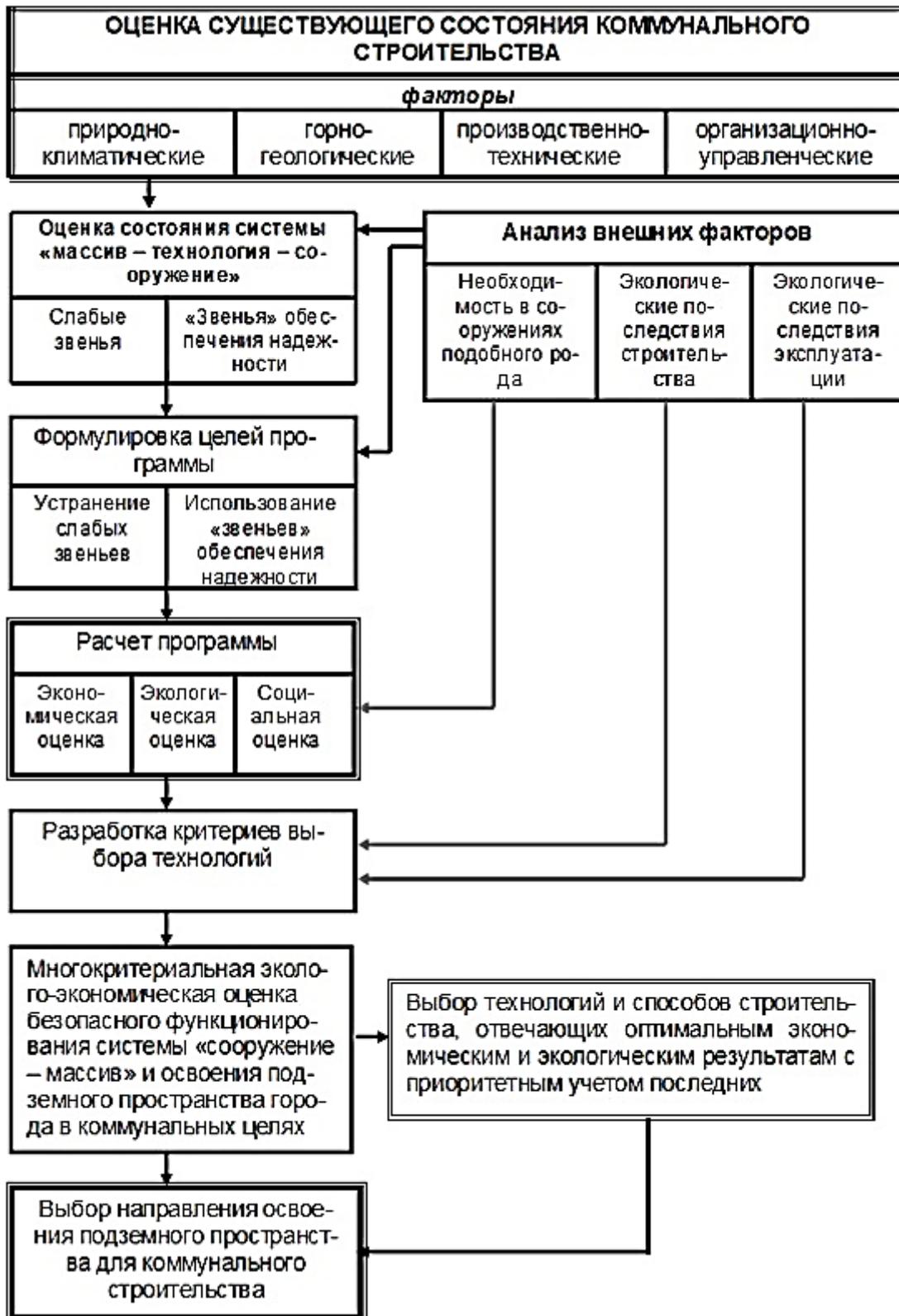


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки ущерба от коммунального подземного строительства

5. Эффект от реализации мероприятий инженерной защиты, в качестве которого может выступать величина предотвращенного ущерба, исчисляется с учетом фактора времени согласно следующей зависимости:

$$D = e \sum_{t=0}^{t=t_c} \Phi(t) \Delta t, \quad (6)$$

где  $e$  – годовой прирост прибыли или другой экономической эффект в первый (нулевой) год внедрения мероприятий;  $\Phi(t)$  – прогностическая безразмерная функция времени, отражающая изменение и дисконтирование того или иного эффектов;  $t_c$  – учитываемый срок действия экологических фондов или затрат на охрану природной среды; значению  $t=0$  отвечает нулевой год, для которого  $\Phi(t)=1$ ;  $\Delta t$  – 1 год.

Характер изменения прогностической функции  $\Phi(t)$  зависит от рода мероприятий инженерной защиты окружающей среды, от основных концепций природопользования, в свою очередь зависящих от принятой технологии строительства коммунального тоннеля.

Природоохранные меры сами по себе выражаются тем или иным видом функции  $\Phi(t)$ . Общим является представление прогностической функции в виде:

$$\left[ \frac{1 \pm P(t)}{1 + E} \right]^t \quad \text{или} \quad \frac{1 \pm tP(t)}{(1 + E)^t}, \quad (7)$$

где  $P(t)$  – прогнозируемый темп роста (+) или спада (-) учитываемого эффекта в долях единицы;  $E$  – коэффициент затрат обратной связи, отражающий обесценивание будущей прибыли, принимаемый, как и коэффициент дисконтирования, равным 0,08.

Если эффективность природоохранных затрат снижается, функция  $\Phi(t)$  затухает и влияние отдаленных во времени эффектов также будет уменьшаться. Суммарный эффект получится из выражения:

$$D = e \sum_0^{t_c} \frac{\Delta t}{(1 + E)^t}. \quad (8)$$

Предел суммы в формуле (1) при  $t_c = \infty$  равен  $1/E$ , а каждое слагаемое представляет собой обесценивание затрат в  $t$ -м году: эффект в  $t_c$  году учитывается в размере  $e(1+E)^{-t_c}$ .

Если рассмотреть экономическую эффективность локальных мероприятий инженерной защиты отдельных компонентов окружающей среды от негативного влияния коммунального строительства, то она выразится следующим образом.

*Экономическая эффективность от мероприятий, предупреждающих локальное загрязнение воздушной среды:*

$$\mathcal{E}_z = V + D - Z, \quad (9)$$

где  $V$  – размеры предотвращаемого годового ущерба от загрязнения воздушной среды;  $D$  – годовой дополнительный доход от совершенствования технологии коммунального строительства или реализации противозагрязняющих воздух мероприятий, включая рентабельную утилизацию поллютантов;  $Z$  – приведенные затраты на предотвращение или снижение загрязнения воздушной среды, при  $Z \geq V + D$  противозагрязняющие мероприятия становятся экономически неэффективными, хотя могут быть социально оправданными.

*Экономическая эффективность мероприятий, предотвращающих загрязнение водной среды:*

$$P'' = \sum_{i=1}^m I_i + \sum_{j=1}^n S_j - \sum_{k=1}^q V_k = \min, \quad (10)$$

где  $I_i$  – капитальные и текущие издержки по  $i$ -му мероприятию – очистке воды, лесопосадкам и т. п. ( $i=1, 2 \dots m$ );  $S_j$  – ущерб  $j$ -му водопотребителю или водопользователю вследствие частичного загрязнения водного источника, ( $j=1, 2 \dots n$ );  $V_k$  – эффект от использования  $k$  ценных компонентов ( $k=1, 2 \dots q$ ), извлекаемых из загрязненных сточных вод.

*Экономическая эффективность мероприятий рекультивационных работ:*

$$\mathcal{E}_p = \frac{\Delta(C - C) + (C_y - C_p)}{K}, \quad (11)$$

где  $C$  – продукция за планируемый год;  $C$  – затраты на рекультивацию земель, используемых для благоустройства города, на планируемый период;  $C_y$  – затраты на планируемый период для предотвращения ущерба, наносимого природной

среде нерекультивированными землями;  $C_p$  – затраты на рекультивацию этих земель;  $K$  – сметная стоимость рекультивации.

Общая эффективность мероприятий инженерной защиты окружающей среды от негативного влияния коммунального строительства определяется как отношение суммарного эффекта, являющегося следствием предотвращения местных ущербов с учетом фактора времени, к затратам на осуществление мероприятий. При этом затраты возрастают по мере удлинения срока их осуществления:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} D_i}{\sum K_i(t)(1 + E_o)^{t_k - t}}, \quad (12)$$

где  $D$  – определяется согласно формулам (6)-(9);  $m$  – число учитываемых объектов, функционирующих на базе измененных природных условий;  $K_i(t)$  – годовые капитальные затраты, производимые за  $(t_k - t)$  лет до окончания этапа строительства, в конце которого создаются производственные фонды  $\sum K(t) = \Phi_k(t)$ ;  $t$  – число лет, прошедших с начала строительства;  $t_k$  – срок строительства;  $E_o$  – коэффициент дисконтирования.

В случае быстро уменьшающегося влияния внедренных мероприятий инженерной защиты окружающей среды, полагая годовые эффекты и капитальные затраты переменными, выражение для определения общей эффективности затрат на охрану природной среды приобретет вид:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{t=0}^{t_c} e(1 + p(t_1))^{t_1} \cdot (1 + E)^{-t_1} \Delta t}{\sum_{i=1}^m \sum_{t=0}^{t_k} K(t_2) \cdot (1 + E_o)^{t_k - t_2}}, \quad (13)$$

где  $t_1$  – число лет службы введенных в действие экологических фондов по  $i$ -му объекту;  $t_2$  – число лет, затрачиваемых на ввод в действие этих фондов по  $i$ -му объекту.

Расчеты общей эффективности [2] открывают возможность обоснования наилучшего варианта, создающего оптимальные условия обеспечения

надежности системы «массив – сооружение», как в экологической сфере, так и в сфере применения конкретной технологии строительства коммунального тоннеля. Это тем более важно, что различные варианты предупреждения загрязнения окружающей среды коммунальным сооружением могут оказаться несопоставимыми, и метод сравнительной эффективности в отдельных случаях недостаточен. При разработке вариантов мероприятий инженерной защиты окружающей среды иногда приходится изменять объем и характер экологических работ, при этом появляется новая структура ресурсов, вовлекаемая в сферу народного хозяйства.

*В качестве критерия выгодности в теории сравнительной эффективности применяется минимум приведенных затрат.* С учетом фактора времени и суммирования капитальных затрат (прибыли) выражение минимизируемой функции запишется в следующем виде.

$$P^1(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{t=0}^{t_c} C_i(t_1)(1+E)^{-t_1} + \sum_{i=1}^m \sum_{t=0}^{t_k} K_i(t_2)(1+E_o)^{t_2-t_1}, \quad (14)$$

где  $P^1(t)$  – приведенные затраты по  $m$  объектам;  $t_c$  – срок капитализации дохода по  $i$ -му объекту;  $t_k$  – число лет, затрачиваемых на ввод в эксплуатацию экологической техники и других мер по инженерной защите окружающей среды по  $i$ -му объекту;  $C_i(t)$  – среднегодовая себестоимость, принята переменной величиной;  $K_i(t)$  – годовые капитальные затраты, приняты переменной величиной.

Как следует из формулы, при определении минимума затрат существенную роль играет время ввода в действие экологических объектов, а также распределение капитальных затрат внутри периода  $t_k$ . Именно в такой формулировке критерий сравнительной эффективности становится важным инструментом бережного отношения к средствам, выделяемым на природоохранные цели.

Экономическая оценка очень важна для обеспечения надежности освоения подземного пространства в коммунальных и других целях. Только при учете всех факторов – технических, технологических, социальных, экономических и

экологических – возможно грамотное обоснование и разработка проектных решений строительной геотехнологии, направленных на обеспечение надежности и безопасности системы «массив – технология – сооружение».

### *Список литературы*

1. Мелешкин М.Т. Экономика и окружающая среда. Взаимодействие и управление / М.Т. Мелешкин, А.П. Зайцев, Х. Маринов. – М.: Экономика, 1989. – 207 с.

2. Куликов Ю.Н. Пути повышения экологической надежности обделок городских коммунальных тоннелей: Материалы круглого стола «Научно-техн. проблемы разработки эколог. безопасных технологий строительства и эксплуатации в сложных горно-геол. условиях» / Ю.Н. Куликов, Е.Ю. Куликова. – Неделя «Горняка». – М.: МГГУ, 1997, – С. 60–64.

3. Куликова Е.Ю. Экологическая безопасность при освоении подземного пространства в крупных городах. Учебное пособие для студентов специальности «Шахтное и подземное строительство». – М.: Издательство МГГУ, 2002. – 376 с.