

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 определяются 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:

$$\Delta Z_2 = (I_m + I_c)_1 - (I_m + I_c)_2 + E[(K_m + K_c)_1 - (K_m + K_c)_2] + (Y_1 - Y_2), \quad (3)$$

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].

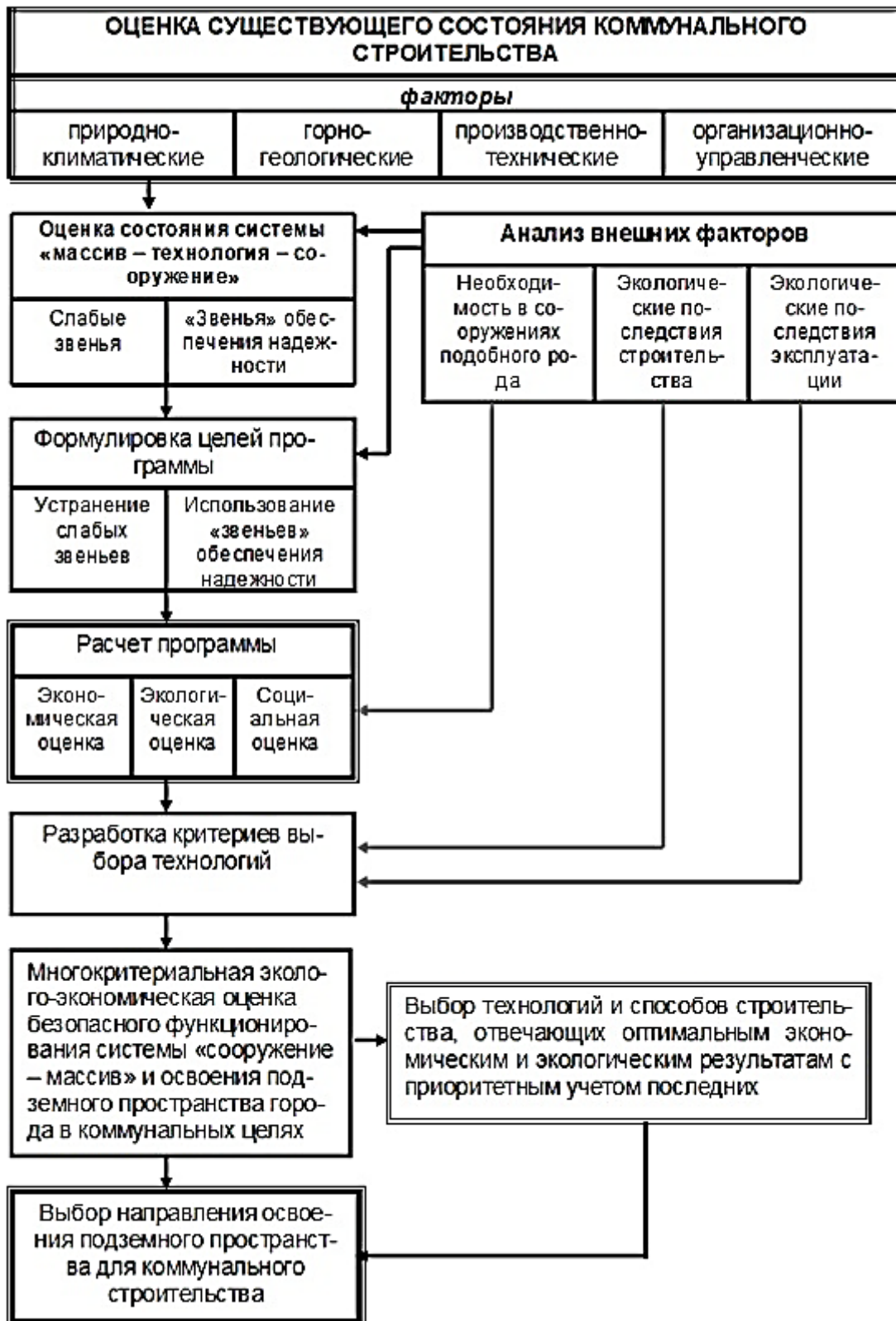


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки ущерба от коммунального подземного строительства

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 $\Phi(t)=1$; Δt – 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.

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

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.