

УДК 620.193.003.1

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ

(Сообщение 2)

© В.И. Вигдорович, Н.В. Шель

Vigdorovich V.I., Shell N.V. On The Economic Optimising Of The Protection Against Corrosion. The calculation method of the economic optimising of the protection against corrosion as a function of the expenditure on protective steps, taking inflation and deflation into account, is discussed. An analytic formula is obtained. The results of the calculations are presented.

Потери неизбежно сопутствуют всякому промышленному и сельскохозяйственному производству и снижение их всегда связано с определенными материальными затратами. Математический и экономический подходы к оптимизации объема последних практически не зависят от конкретной области деятельности многочисленных коллективов, отдельных небольших хозяйственных образований и форм собственности.

В предлагаемой статье рассматриваются вопросы оптимизации затрат на борьбу с потерями на примере коррозионных потерь. Оптимизировать потери, в частности, можно по следующим факторам:

1. Объему затрат на снижение потерь.

2. Эффективности избранного метода снижения потерь, т.к. далеко не всегда технически наиболее эффективный метод является таковым и экономически. Рискнув показаться вульгарными, укажем, что платинирование или золочение поверхности многотоннажных металлоизделий, используемых в промышленности, вряд ли экономически оправдано.

3. Соотношению прямых и косвенных потерь.

4. Уровню и продолжительности инфляции и дефляции.

Влияние ряда факторов рассмотрено нами ранее [1] на примере снижения коррозионных потерь, которые, как правило, очень велики и имеют все признаки различных видов потерь. Вместе с тем заявленные величины потерь от коррозии, как правило, характеризуются следующим:

- отсутствием необходимого массива данных не только по косвенным, но и по прямым потерям, не говоря уже о повышении уровня экологической напряженности;

- субъективностью многих оценок, которые не базируются на научно-обоснованном подходе;

- заниженностью результатов, т.к. прямые, а тем более косвенные потери всегда недоучтены.

Тем не менее возьмем на себя смелость привести результаты оценки национальной ассоциации инженеров-коррозионистов США [2]. По ее данным общие годовые потери Соединенных Штатов Америки составляют 150 - 200 млрд. долларов, в том числе:

- от коррозии двигателей внутреннего сгорания - 30 - 40 млрд. долларов;

- от коррозии подземных, надземных, морских и промышленных зданий и сооружений - 30 - 40 млрд. долларов;

- от коррозии подземных и надземных коммуникаций - 22 - 30 млрд. долларов;

- от коррозии точных и особо точных металлоизделий - 15 - 20 млрд. долларов;

- от коррозии в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности - 15 - 20 млрд. долларов.

Отметим, что в предлагаемую систему оценок не входят потери от коррозии в сельском хозяйстве и огромные экологические потери.

Оптимизация экономических показателей производства в целом и различных его сторон в частности, основывается на сравнении валовых доходов и издержек или на сопоставлении предельных значений этих величин [2]. В полной мере указанное касается и противокоррозионных мероприятий. В отечественной практике обычно используется подход, изложенный в [3], предполагающий сравнение издержек, определяемых базовым и новым вариантами защиты от коррозии и требующий целого ряда поправочных коэффициентов.

В [1] нами развит несколько иной подход к оценке экономической эффективности противокоррозионной защиты. В нем связь между коррозионными потерями и затратами на противокоррозионные мероприятия задается уравнением:

$$K_{икп} = K_{кп} + K_{кр} \quad (1)$$

K с соответствующим индексом в (1) - это последовательно: истинные коррозионные потери, собственно коррозионные потери и затраты на противокоррозионные мероприятия. $K_{кр}$ рассматриваются не как издержки производства, а как составляющая $K_{икп}$. Это отражает их генетическую связь с $K_{кп}$ и подчеркивает, что, будучи использованными, они "потеряны" как материальные ресурсы для иных сфер применения.

В условиях эффективной защиты от коррозии рост $K_{кр}$ ведет к существенно большему изменению $K_{кп}$, т.е. $K_{кп}/K_{кр} \gg 1$. Учитывая, что $K_{кп}$ складываются из прямых ($K_{пкп}$) и косвенных ($K_{ккп}$) коррозионных потерь, уравнение (1) принимает вид:

$$K_{икп} = K_{пкп} + K_{ккп} + K_{кр} \quad (2)$$

В простейшем случае

$$(K_{пкп} + K_{ккп}) / K_{пкп} = K_1 \quad (3)$$

Т.к. $K_{пкп}$ оцениваются гораздо проще, чем $K_{ккп}$ и $K_{кр}$, далее используем зависимость

$$K_{пкп} = F(K_{кр}) \quad (4)$$

С учетом (3) и (4) имеем:

$$K_{кп} = K_1 F(K_{кр}) \quad (4a)$$

Знание вида $F(K_{кр})$ в сочетании с уравнением (1) позволяет оценить экономическую эффективность противокоррозионной защиты и снижение прямых и косвенных коррозионных потерь, как функцию объема противокоррозионных затрат и эффективности противокоррозионных мероприятий.

Абсолютная величина экономической эффективности противокоррозионной защиты ($\mathcal{E}_{пз}$) равна:

$$\mathcal{E}_{пз} = K_{кп}^0 - [K_1 F(K_{кр}) + K_{кр}] \quad (5)$$

$K_{кп}^0$ и далее $K_{пкп}^0$ и $K_{ккп}^0$ - соответствующие потери при $K_{кр} = 0$. В уравнениях (1) и (2) с теми же индексами без нуля - показаны подобные виды потерь при

$K_{кр} \neq 0$.

Реальная связь $\mathcal{E}_{пз}$ с $K_{кр}$ может быть описана различными зависимостями, ведущими к тождественным результатам за счет использования подгоночных коэффициентов. Единые требования к подобным функциям - непрерывность, однозначность, а также выполнение условий:

$$1. K_{кр} = 0. \text{ Тогда } \mathcal{E}_{пз} = 0, \quad K_{кп}^0 / K_{кп} = 1.$$

2. $\mathcal{E}_{пз} < K_{кп}^0$. Математический формализм в пределе приводит к $\mathcal{E}_{пз} = K_{кп}^0$, что теоретически недостижимо.

3. Наличие единственного максимума в области физически разумных значений $K_{кр}$ (выполнение закона понижающей (разнозначной) отдачи). Условие (3) связано с тем, что использование эффективного метода противокоррозионной защиты с ростом величины $K_{кр}$ ведет к повышению $\mathcal{E}_{пз}$, которое не бесконечно. Одновременно увеличение $K_{кр}$ в пределе не может привести к постоянству $\mathcal{E}_{пз}$.

Подобным требованиям отвечает функция:

$$K_{кп} = K_1 \exp(-K_2 K_{кр} / K_{пкп}^0) \quad (6)$$

Отношение $K_{кр} / K_{пкп}^0$ отражает затраты на предотвращение коррозии в единицах $K_{пкп}^0 \cdot K_2$ - коэффициент эффективности противокоррозионной защиты, определяемый ее условиями, природой защищаемого объекта, эффективностью используемых защитных технологий, профессиональной подготовкой работников коррозионных служб.

Примем $K_{пкп}^0 = 1$ [1]. Тогда в дальнейшем все виды коррозионных потерь и затрат на противокоррозионные мероприятия оцениваются в единицах $K_{пкп}^0$. Соответственно уравнение (6) упрощается

$$K_{кп} = K_1 \exp(-K_2 K_{кр}) \quad (6a)$$

Сочетание (6a) с (5) дает:

$$\mathcal{E}_{пз} = K_1 [1 - \exp(-K_2 K_{кр}) - K_{кр} / K_1] \quad (7)$$

С использованием изложенного подхода в [1] рассмотрены пути оценки связи коррозионных затрат с эффективностью противокоррозионной защиты и объемом коррозионных потерь и показана возможность расчета оптимальной величины коррозионных расходов при отсутствии инфляционных и дефляционных процессов и связи между эффективностью метода противокоррозионной защиты и затратами на ее осуществление.

В настоящем сообщении учтены инфляция и дефляция в условиях, когда потребитель и заказчик - один физический представитель. Предварительно отметим, что инфляционные явления имеет смысл учитывать в том случае, когда наблюдается существенная разновременность между затратами на противокоррозионные мероприятия и полученным от них экономическим эффектом. Величина K_1 при этом остается постоянной. Пусть $\mathcal{E}_{пз}$ оценивается спустя время τ после производства затрат. При этом под τ понимается количество прошедших временных единиц (месяцев, лет). Пусть в единицу времени средний за время τ коэффициент инфляции (дефляции) равен величине α , выражен в долях затрат и может быть как больше, так и меньше нуля. Тогда $K_{кп}^0$

$K_{\text{кп}}^0$ и $K_{\text{кп}}^0$ изменяются за расчетный период соответственно на величины $\alpha \tau K_{\text{кп}}^0$, $\alpha \tau K_{\text{кп}}^0$ и $\alpha \tau K_{\text{кп}}^0$. Изменение представляет собой дополнительные расходы, которые необходимо понести для восполнения потерь к моменту времени τ , чтобы они стали эквивалентными $K_{\text{кп}}^0$, $K_{\text{кп}}^0$ и $K_{\text{кп}}^0$ на момент внесения затрат, рассчитанных или найденных другим путем.

Тогда уравнение (7) принимает вид:

$$\mathcal{E}_{\text{пз}} = (1 + \alpha \tau) [K_1 - \exp(-K_2 K_{\text{кр}}) - K_{\text{кр}} / (1 + \alpha \tau) K_1]. \quad (8)$$

Откуда

$$\begin{aligned} d\mathcal{E}_{\text{пз}}/dK_{\text{кр}} &= (1 + \alpha \tau) K_1 K_2 \exp(-K_2 K_{\text{кр}}) - 1 \\ d^2\mathcal{E}_{\text{пз}}/dK_{\text{кр}}^2 &= - (1 + \alpha \tau) K_1 K_2^2 \exp(-K_2 K_{\text{кр}}). \end{aligned}$$

Вторая производная уравнения (8) отрицательна пока $(1 + \alpha \tau) > 0$, т.е. для всех инфляционных и дефляционных процессов ($\alpha < 0$), пока $1 > \alpha \tau$. Следовательно, при этих условиях экстремум представляет собой максимум. Зависимость

$$K_{\text{кр}}^x = F(K_1 K_2, \alpha, \tau),$$

где $K_{\text{кр}}^x$ соответствует оптимальным коррозионным расходам на проведение противокоррозионных мероприятий, найдем из равенства нулю $d\mathcal{E}_{\text{пз}}/dK_{\text{кр}}$.

$$K_{\text{кр}}^x = \frac{\ln[(1 + \alpha \tau) K_1 K_2]}{K_2}. \quad (9)$$

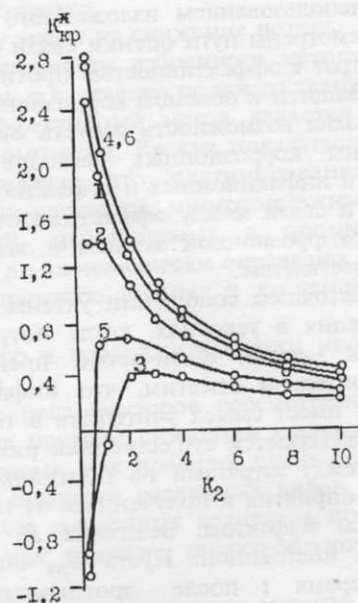


Рис. 1. Зависимость $K_{\text{кр}}^x$ от K_2 по уравнению $K_{\text{кр}}^x = \frac{\ln(M_1 K_1 K_2)}{K_2}$; $M_1 = 1 + \alpha \tau$, $M_2 = (1 + \alpha)^2$; $M_3 = e^{\alpha \tau}$; 1, 2 и 3 - M_1 , 4 и 5 - M_2 , 6 - M_3 . 1, 4 и 6 - $\alpha = 0,06$; 2 - $\alpha = 0$; 3 и 5 - $\alpha = -0,06$; $\tau = 12$.

На рис. 1 приведены результаты расчета $K_{\text{кр}}^x$ в зависимости от эффективности защитных мероприятий в интервале $-0,06 \leq \alpha \leq 0,06$.

Оптимальная величина противокоррозионных расходов существенно зависит от α . На рис. 2 представлены данные расчетов $\mathcal{E}_{\text{пз}}$ по уравнению типа (8). Естественно, что с ростом инфляции внесение предшествующих затрат дает возможность получить и больший по абсолютной величине экономический эффект; спад инфляции ведет к обратным результатам. В последнем случае α позволяет вовремя получить максимальный $\mathcal{E}_{\text{пз}}$ и избежать значительных потерь ($\mathcal{E}_{\text{пз}} < 0$). При этом, чем мельче величина τ , тем точнее расчет и глубже анализ. Изменение скорости инфляции и усреднение α за более короткие τ весьма желательно, а уравнение (8) тогда принимает вид:

$$\mathcal{E}_{\text{пз}} = (1 + \alpha_1 \tau_1 + \dots + \alpha_i \tau_i) K_1 [1 - \exp(-K_2 K_{\text{кр}}) - \frac{K_{\text{кр}}}{(1 + \alpha_1 \tau_1 + \dots + \alpha_i \tau_i) K_1}], \quad (8a)$$

где $\tau = \tau_1 + \dots + \tau_i$.

Величину K_2 можно получить решением обратной задачи, отвечающей уравнению (8), из зависимости:

$$K_2 = \frac{\ln[(1 + \alpha \tau) K_1 - \mathcal{E}_{\text{пз}} - K_{\text{кр}}] / (1 + \alpha \tau) K_1}{K_{\text{кр}}}.$$

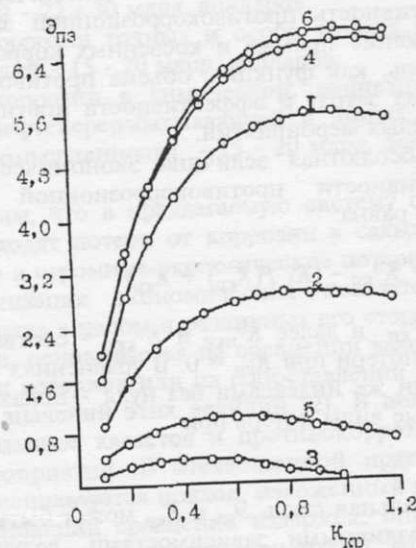


Рис. 2. Зависимость $\mathcal{E}_{\text{пз}}$ от $K_{\text{кр}}$ в соответствии с уравнением $\mathcal{E}_{\text{пз}} = M_1 K_1 [1 - \exp(-K_2 K_{\text{кр}}) - \frac{K_{\text{кр}}}{M_1 K_1}]$;

$M_1 = 1 + \alpha \tau$; $M_2 = (1 + \alpha)^2$; $M_3 = e^{\alpha \tau}$; 1, 2 и 3 - M_1 , 4 и 5 - M_2 ; 6 - M_3 . 1, 4 и 6 - $\alpha = 0,06$; 2 - $\alpha = 0$; 3 и 5 - $\alpha = -0,06$. $K_1 = 4$; $K_2 = 3$; $\tau = 12$.

Инфляционные явления приводят к зависимости оптимальной величины расходов на противокоррозионные мероприятия и $\mathcal{E}_{пз}$ от коэффициента инфляции и количества временных интервалов с момента понесения затрат $K_{кр}$. Зависимость $\mathcal{E}_{пз}$ от величины τ показана на рис. 3. В условиях систематической инфляции экономическая эффективность $K_{кр}$ (как бы прошлых затрат), сильно растет, и, напротив, снижается при наступлении дефляции.

Изменение коэффициента инфляции существенно сказывается на экономической эффективности затрат на противокоррозионные мероприятия (рис. 4). Линия MN характеризует устойчивую экономическую ситуацию в отрасли ($\alpha = 0$), слева область дефляционных, справа - инфляционных процессов. Легко видеть,

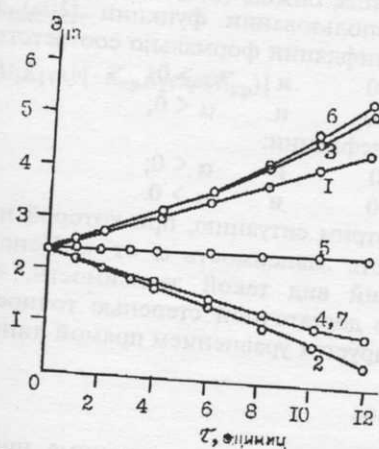


Рис. 3. Связь $\mathcal{E}_{пз}$ с τ по уравнению типа (8a). $K_1 = 4$; $K_2 = 3$; $K_{кр} = 0,4$; $M_1 = 1 + \alpha\tau$; $M_2 = (1 + \alpha)^2$; $M_3 = e^{\alpha\tau}$. 1 и 2 - M_1 ; 3 и 4 - M_2 ; 6 и 7 - M_3 ; 1, 3 и 6 - $\alpha = 0,06$; 2, 4 и 7 - $\alpha = -0,06$; 5 - $\alpha = 0$.

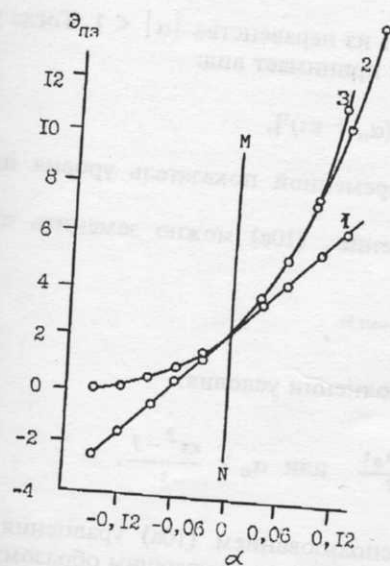


Рис. 4. Зависимость $\mathcal{E}_{пз}$ от α по уравнению типа (8a) при $K_1 = 4$; $K_2 = 3$; $K_{кр} = 0,4$. M_1 , M_2 и M_3 равны таковым, приведенным в подписи рис. 3. 1 - M_1 ; 2 - M_2 ; 3 - M_3 .

что инфляция более выгодна физическим предствителям, которые в прошлом понесли большие расходы на предотвращение потерь, и очень опасна для экономивших на таких затратах. Количественные размеры выигрыша первых и потерь вторых легко получить из данных рис. 4.

Естественно, что в условиях нестабильности производства важное значение имеет оценка оптимальной величины $K_{кр}^*$, на которую оказывают сильное влияние α и τ . Связь $K_{кр}^*$ с τ при постоянных K_1 , K_2 и α показана на рис. 5. Зависимость $K_{кр}^*$ от α при постоянных остальных параметрах также легко прослеживается (рис. 6). Оценка величины $K_{кр}^*$ требует надежного прогноза инфляционных процессов как с позиций изменения коэффициента инфляции, так и продолжительности самого процесса инфляции от момента финансирования затрат до момента стабилизации процесса.

По-видимому, более точные зависимости

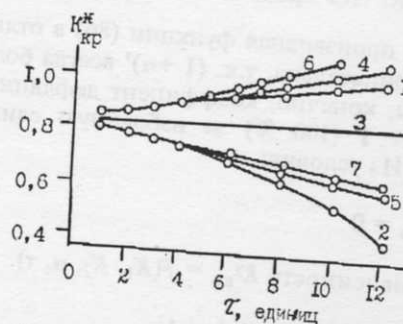


Рис. 5. Зависимость величины $K_{кр}^*$ от продолжительности инфляции при $K_1 = 4$; $K_2 = 3$ в соответствии с уравнением $K_{кр}^* = \frac{\ln(M_1 K_1 K_2)}{K_2} M_1$, M_2 и M_3 смотри в подписи к рис. 3. 1 и 2 - M_1 ; 4 и 5 - M_2 ; 6 и 7 - M_3 . 1, 4 и 6 - $\alpha = 0,06$; 3 - $\alpha = 0$; 2, 5 и 7 - $\alpha = -0,06$.

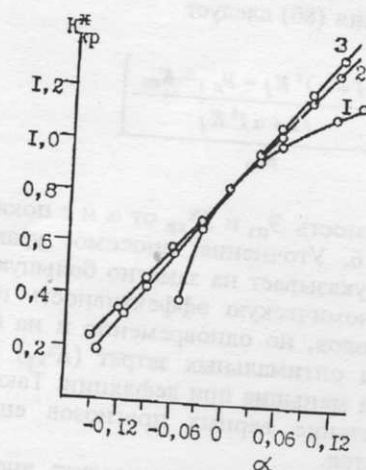


Рис. 6. Зависимость величины $K_{кр}^*$ от уровня инфляции при $K_1 = 4$; $K_2 = 3$ и $\tau = 12$ в соответствии с уравнением $K_{кр}^* = \frac{\ln(M_1 K_1 K_2)}{K_2}$. M_1 , M_2 и M_3 в соответствии с подписью к рис. 3. 1 - M_1 ; 2 - M_2 ; 3 - M_3 .

можно получить при использовании для учета инфляционных процессов сложного процента.

$$M = A(1 + \alpha)^{\tau}, \quad (10)$$

где A и M - соответственно начальная и конечная (через τ временных интервалов) величина

$K_{кр}^0$, изменяющаяся в результате инфляции. Физический смысл α и τ , естественно, остается прежним. А удобно принять равной 1.

С использованием (9) уравнение (8) принимает вид:

$$\partial_{из} = (1 + \alpha)^{\tau} K_1 [1 - \exp(-K_2 K_{кр}) - K_{кр} / (1 + \alpha)^{\tau} K_1], \quad (86)$$

откуда

$$d\partial_{из}/dK_{кр} = (1 + \alpha)^{\tau} K_1 K_2 \exp(-K_2 K_{кр}) - 1$$

$$d^2\partial_{из}/dK_{кр}^2 = -(1 + \alpha)^{\tau} K_1 K_2^2 \exp(-K_2 K_{кр})$$

* Вторая производная функции (86) в отличие от (8а) отрицательна, т.к. $(1 + \alpha)^{\tau}$ всегда больше нуля, если, конечно, коэффициент дефляции не превышает 1 (100 %) за избранную единицу времени. Из условия:

$$d\partial_{из}/dK_{кр} = 0$$

найдем зависимость $K_{кр}^x = F(K_1, K_2, \alpha, \tau)$.

$$(1 + \alpha)^{\tau} K_1 K_2 \exp(-K_2 K_{кр}) = 1$$

откуда

$$K_{кр}^x = \frac{\ln / (1 + \alpha)^{\tau} K_1 K_2}{K_2} \quad (9a)$$

Из уравнения (86) следует

$$K_2 = - \frac{\ln \left[\frac{(1 + \alpha)^{\tau} K_1 - \partial_{из} - K_{кр}}{(1 + \alpha)^{\tau} K_1} \right]}{K_{кр}}$$

Зависимость $\partial_{из}$ и $K_{кр}^x$ от α и τ показана на рис. 3 - 6. Уточнение, вносимое уравнением типа (9), указывает на заметно большую реальную экономическую эффективность понесенных расходов, но одновременно и на большие величины оптимальных затрат ($K_{кр}^x$) при инфляции и меньшие при дефляции. Таким образом, значение верных прогнозов еще более усиливается.

Некоторые уточнения следует внести и в уравнение (10). Дело в том, что формально инфляция возможна при следующих условиях:

- а) $\tau > 0$ и $\alpha > 0$;
- б) $\tau < 0$ и $\alpha < 0$.

Для дефляции необходима реализация следующих неравенств:

- а) $\tau < 0$ и $\alpha > 0$;
- б) $\tau > 0$ и $\alpha < 0$.

Подобный подход к учету инфляционных воздействий имеет ряд существенных недостатков:

- $\alpha = \text{const}$, хотя в общем случае $\alpha = F(\tau)$;
- при достижении значения $|\alpha| > 1$, т.е. $|1 - \alpha| < 0$ чередование целых величин τ приводит к чередующейся смене знака M , что не имеет физического смысла.

В случае $|\alpha| < 1$ имеем:

$$(1 \pm \alpha)^{\tau} = 1 \pm \alpha \tau$$

и при $(\alpha \tau) < 1$

$$1 \pm \alpha \tau = e^{\pm \alpha \tau}, \text{ т.е. } M = e^{\alpha \tau}. \quad (10a)$$

При использовании функции (10a) вновь условиям инфляции формально соответствует:

- а) $\tau > 0$ и $\alpha > 0$;
- б) $\tau < 0$ и $\alpha < 0$;

условиям дефляции:

- а) $\tau > 0$ и $\alpha < 0$;
- б) $\tau < 0$ и $\alpha > 0$.

Рассмотрим ситуацию, при которой необходимо учесть зависимость α от τ . Используем простейший вид такой зависимости, считая, что она с достаточной степенью точности аппроксимируется уравнением прямой линии, т.е.

$$\alpha = \kappa \tau + \alpha_0$$

Последняя функция применима при условии:

$$0 < \kappa < \frac{1 - \alpha_0}{\tau}, \text{ т.е. } \alpha_0 < 1 - \alpha \tau,$$

что следует из неравенства $|\alpha| < 1$. Тогда уравнение (10) принимает вид:

$$M = [1 + (\alpha_0 + \kappa \tau)^{\tau}], \quad (11)$$

где κ - временной показатель уровня инфляции.

Уравнение (10a) можно заменить зависимостью:

$$M = e^{(\alpha_0 + \kappa \tau)^{\tau}}, \quad (11a)$$

при выполнении условия:

$$\kappa < \frac{1 + \alpha_0 \tau}{\tau^2} \text{ или } \alpha_0 > \frac{\kappa \tau^2 - 1}{\tau}.$$

С использованием (10a) уравнения (86) и (9a) преобразуются следующим образом:

$$\partial_{из} = \exp(\alpha \tau) K_1 \{1 - \exp(-K_2 K_{кр}) - K_{кр} / [\exp(\alpha \tau) K_1]\} \quad (8b)$$

$$K_{кр}^x = \ln[\exp(\alpha\tau)K_1K_2]/K_2. \quad (9в)$$

Характер зависимости $K_{кр}^x$ от K_2 и $\partial_{пз}$ от $K_{кр}$, определяемый уравнениями (8в) и (9в), показан на рис. 3 - 6. Следует отметить, что вид функции типа (10а) в ряде случаев сказывается значительно.

Из (8в) следует:

$$K_2 = \ln \left[\frac{\exp(\alpha\tau)K_1}{\exp(\alpha\tau)K_1 - \partial_{пз} - K_{кр}} \right] / K_{кр}.$$

Учтем связь между эффективностью метода противокоррозионной защиты и затратами на ее осуществление. С этой целью используем замену K_2 на $K_2 \exp(K_{кр})$. Применительно к различным предлагаемым вариантам учета влияния инфляции вместо (6) можно записать единое уравнение:

$$K_{пк} = M_i K_1 \exp[-K_{кр} K_2 \exp(K_{кр})] \quad (8г)$$

где M_i - коэффициент, определяемый методикой оценки уровня инфляции и ее продолжительности. Уравнение (7) трансформируется с учетом (6а) следующим образом:

$$\partial_{пз} = M_i K_1 \{1 - \exp[-K_{кр} K_2 \exp(K_{кр})] - K_{кр}/M_i K_1\} \quad (6а)$$

$$d\partial_{пз}/dK_{кр} = \{M_i K_1 K_2 \exp[-K_2 K_{кр} \exp(K_{кр})] \times (K_{кр} + 1) \exp(K_{кр})\} - 1$$

$$d^2\partial_{пз}/dK_{кр}^2 = M_i K_1 \exp[-K_2 K_{кр} \exp(K_{кр})] / [K_2(K_{кр} + 2) \exp(K_{кр})] - K_2^2(K_{кр} + 1)^2 \exp 2K_{кр}]$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Вигдорович В.И., Шель Н.В. // Защита металлов. 1993. Т. 29. № 6. С. 953-959
2. Макконнеелл К.Р., Брю С.Л. Экономика (принципы, проблемы, политика). Т. 2. М.: Республика, 1992. С. 69.
3. Кессельман Г.С. Экономическая эффективность предотвращения коррозии в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1988. С. 149.

Поступила в редакцию 13 января 1997 г.