

## **ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТВЕЙ СТАЛЬНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЕТОМ ГЕТЕРОГЕННОСТИ СВОЙСТВ СРЕДЫ ПРОКЛАДКИ ТРУБ**

*Насиров Хабиб Миргалиб оглы*

Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской  
Республики; Национальное Аэрокосмическое Агентство,  
г. Баку, Азербайджанская Республика

*Сформулирована и решена задача оптимального выбора времени эксплуатации ветвей трубопровода, расположенных в различных зонах гетерогенно-коррозионного региона. Разработана модель трубопровода с учетом различных степеней наличия факторов, вызывающих коррозию в различных зонах региона. В результате оптимизации модели синтезирован порядок выбора срока службы отдельных участков трубной линии с учетом внешних факторов, способствующих возникновению коррозии. Предложен оптимальный порядок бескоррозионной эксплуатации ветвей стальных магистральных трубопроводов с учетом гетерогенности свойств почвы.*

***Ключевые слова:** трубопровод; коррозия; оптимизация; гетерогенность, почва*

## **OPTIMAL PROCEDURE FOR THE CORROSION-FREE OPERATION OF STEEL MAIN PIPELINES TAKING INTO ACCOUNT THE HETEROGENEITY OF THE PIPE LAYING MEDIUM**

*Nasirov Habib Mirgalib oglu*

State Oil Company of the Republic of Azerbaijan; National Aerospace  
Agency, Baku, Azerbaijan

*The problem of optimal selection of operating times of pipeline branches located in different zones heterogeneous-corrosive region has been formulated and solved. A pipeline model has been developed*

*taking into account different degrees of corrosion factors in different regions of the region. The optimization of the model resulted in the synthesis of the choice of service life of individual sections of the pipe line, taking into account the external factors contributing to corrosion. The optimal order of corrosion-free operation of branches of steel main pipelines is proposed taking into account heterogeneity of soil properties.*

**Keywords:** pipeline; corrosion; optimization; heterogeneity; soil

## **Введение**

Хорошо известно, что надежность транспортировки природного газа зависит от состояния почвы, а также материала трубопровода [1,2]. Несмотря на использование битумного покрытия труб и систем катодной защиты, при определенных условиях могут возникнуть проблемы коррозии и поломки [3]. Стальные трубы обычно эксплуатируются в течение тридцати лет.

Определение показателей коррозионности почвы очень важно для обеспечения целостности систем транспортировки углеводородов. Основными физико-химическими показателями, определяющими коррозионность почв являются резистивность почвы ( $\rho$ ) окислительно – восстановленный потенциал ( $E$ ),  $pH$ , содержание солей и влаги в почве, и др. [1].

Согласно [4], максимальная величина коррозионной глубины, при некоторых условиях, характеризующих состояние почвы, определяется следующим уравнением

$$P = k \cdot t^n \quad (1)$$

где  $P$  – максимальная коррозионная глубина отмеченная в течение времени  $t$ ;  $n$  – постоянные величины.

На рис. 1 показаны кривые функции (1) для разных условий аэрации трубопровода.

Согласно [4], основными воздействующими факторами на формирование коррозии в стальных трубах также являются: содержание ионов сульфата ( $SO_4^{-2}$ ), содержание ионов хлорида ( $Ch^{-1}$ ), щелочность,  $pH$ , общее количество органических веществ, потенциал (труба/почва).

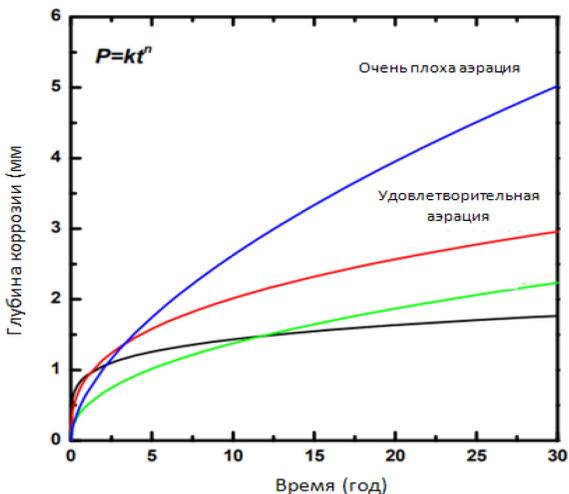


Рис. 1. Зависимость глубины коррозии от времени и степени аэрации стального трубопровода [4]

В результате экспериментальных измерений вышеуказанных показателей было получено линейное регрессионное уравнение для вычисления показателя  $k$ . Для этого уравнение (1) было представлено как

$$\log P_i = a_0 + \sum_{j=1}^q a_j x_j + \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^q a_k x_j x_k + a_{q+1} \cdot \log t_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

где  $q$  – количество переменных;

$x_j$  – факторы воздействующей среды;

$\varepsilon_i$  – погрешность;

$i = \overline{1, n}$  – количество выборах.

В работе [4] приведено линейное регрессионное уравнение, соответствующее первым трем членам в (2).

$$k = 0.700 + 0.069 \log SRB + 0.749 \frac{P}{S} + 0.203 \log (Cl) - 0.050 E_b \cdot Z - 0.014 pH \cdot \log \rho \quad (3)$$

где  $SRB$  – показатель микробиальной активности в почве;  $P/S$  – потенциал труба/почва;  $\rho$  – резистивность (удельное сопротивление) почвы.

Исследования проведенные в конкретно выбранной зоне показали, что уравнение (1) может быть аппроксимировано выражением

$$P_0 = 0.5k_0 \cdot t^{0.373} \quad (4)$$

где  $k_0$  – величина  $k$ , вычисленная по формуле (2).

$P_0$  – отношение максимальной коррозионной глубины к средней величине максимальных коррозионных глубин получаемых при последовательном увеличении количества переменных в модели (3).

### Предлагаемая модель

Как видно из вышеизложенного, модель созданная в [4] не учитывает гетерогенность географического региона и построена на базе результатов экспериментальных исследований с учетом полной и сокращенных версий выражения (3).

Предлагаемая в настоящей работе модель предусматривает общую гетерогенность территории, в которой проложена трубопроводная линия. Допускается, что указанная территория может быть разбита на отдельные зоны, характеризующиеся показателями  $k_i$ ;  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – количество зон. При этом, считаем что множество

$$k = \{k_i\} \quad (5)$$

являются упорядоченным, т.е. имеет место равенство.

$$k_i = k_{i-1} + \Delta k; \quad \Delta k = const; \quad k_0 = 0 \quad (6)$$

В этом случае усредненная величина максимальной коррозионной глубины определяется как

$$P_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \cdot t^n \quad (7)$$

В формуле (7) показатель  $t$  можно рассматривать в качестве временного периода эксплуатации трубопровода. Очевидно, что в гетерогенном регионе прокладки стального трубопровода срок службы отдельных частей трубопровода не может быть одинаковым. В этом случае и целесообразно ввести функцию зависимости показателя  $t$  от  $k$  в виде

$$t = f(k) \quad (8)$$

В дальнейшем ставится задача вычисления оптимальной функции  $f(k)$ , при которой  $P_{cp}$  достиг бы минимальной величины. Для сужения множества возможных видов функций (8), которые могли бы рассматриваться в качестве оптимальных, на функцию (8) наложим следующее интегральное ограничение

$$\int_0^{k_{\max}} f(k) dk = C; \quad C = const \quad (9)$$

Так как, согласно модели (3)  $k$  является двухполярной величиной,  $t$  – однополярная, то возможные виды непрерывных функций, удовлетворяющих условию показаны на рис. 2.

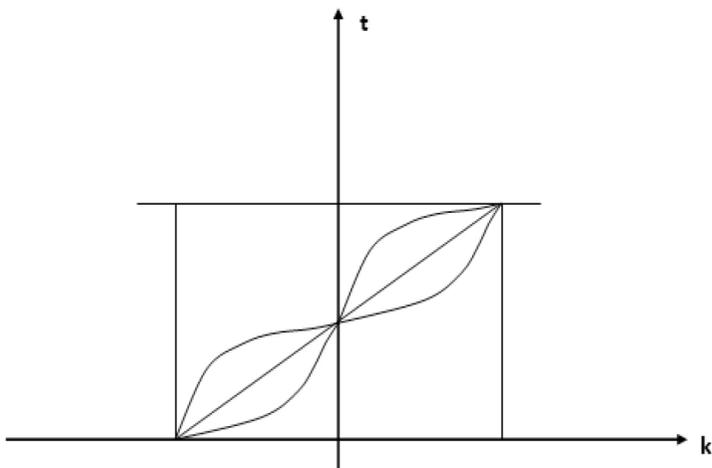


Рис. 2. Возможные варианты выбора оптимальной функции  $f(k)$ , удовлетворяющих условию (9)

### Оптимизация прокладки трубопровода в гетерогенно-коррозионном регионе

Для формирования и решения задачи оптимальной прокладки трубопровода в гетерогенно-коррозионном регионе рассмотрим вариант непрерывной записи модели (7).

$$P_{cp.} = \frac{1}{k_{\max}} \cdot \int_0^{k_{\max}} f(k)^n dk \quad (10)$$

где  $k_{\max}$  – максимальная величина  $k$ .

Целевой функционал  $F$  оптимизации с учетом выражений (9) и (10) составим в виде

$$F = \frac{1}{k_{\max}} \cdot \int_0^{k_{\max}} f(k)^n dk - \lambda \left[ \int_0^{k_{\max}} f(k) dk - C \right] \quad (11)$$

где  $\lambda$  – множитель Лагранжа.

Согласно [5], оптимальная функция  $f(k)$ , при которой  $F$  достигает экстремума, должна удовлетворить условию

$$F_1 = \frac{d \left\{ \frac{1}{k_{\max}} \cdot kf(k)^n - \lambda [f(k) - C] \right\}}{df(k)} = 0 \quad (12)$$

Из (12) получим

$$\frac{k \cdot n \cdot f(k)^{n-1}}{k_{\max}} - \lambda = 0 \quad (13)$$

Из (13) находим

$$f(k) = {}^{(1-k)}\sqrt{\frac{kn}{k_{\max} \cdot \lambda}} \quad (14)$$

С учетом (9) и (14) получим

$${}^{(1-k)}\sqrt{\frac{n}{k_{\max} \cdot \lambda}} \int_0^{k_{\max}} {}^{(1-k)}\sqrt{k} \cdot dk = C \quad (15)$$

Решение уравнения (15) относительно  $\lambda$  отметим как  $\lambda_0$ .

Следовательно решение (14) можно представить как

$$f(k) = {}^{(1-k)}\sqrt{k} \cdot C_1 \quad (16)$$

где

$$C_1 = {}^{(1-k)}\sqrt{\frac{n}{k_{\max} \cdot \lambda_0}} \quad (17)$$

Чтобы определить тип экстремума функционала (11) при решении (16) вычислим знак следующего выражения:

$$F_2 = \frac{d^2 \left\{ \frac{1}{k_{\max}} \cdot k \cdot f(k)^n - \lambda [f(k) - C] \right\}}{df(k)^2}$$

С учетом  $n > 1$  нетрудно убедиться, что  $F_2$  имеет знак (минус). Следовательно, при решении (16)  $F$  достигает максимальной вели-

чины, что явно нежелательно. Как результат, можно сделать вывод о том, что в реальном случае функция  $f(k)$  должно радикальным образом отличаться от вида (16), например, быть инверсной в отношении (16) в виде

$$f(k)_{opt} = A - \sqrt[1-k]{k} \cdot C_1$$

где  $A = const$ .

### **Заключение**

Рассмотрена задача оптимального выбора времени эксплуатации ветвей трубопровода, расположенных в различных зонах гетерогенно-коррозионного региона. Предложена модель трубопровода с учетом различных степеней коррозии в различных зонах региона. В результате оптимизации модели синтезирован порядок выбора срока службы отдельных участков трубной линии с учетом внешних факторов, способствующих возникновению коррозии.

### **Список литературы**

1. Petersen C. W., Corbett K. T. Improving long distance gas transmission economics: X120 development overview, the international pipeline technology conference. Ostend. 2004. Vol. I. Pp. 3.
2. Lung A., Pincau A. Resistance and toughness of pipeline steels. Crack arrest in cleavage fracture. La revue de Metallurgie – CIT/Science et genie des materiaux. 1995. Pp. 227-239.
3. Benmoussat A., Hadjel M. Corrosion behavior of low carbon line pipe steel in soil environment// The Journal of Corrosion Science and Engineering. 31 January 2005. Vol. 7. ISSN 1466-8858.
4. Soil corrosivity analysis. [http://www.corrosionsurvey.co.kr/viewer/pdf/n\\_02.pdf](http://www.corrosionsurvey.co.kr/viewer/pdf/n_02.pdf)
5. Эльцгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М. Наука. 1974. Стр. 432.

### **References**

1. Petersen C. W., Corbett K. T. Improving long distance gas transmission economics: X120 development overview, the international pipeline technology conference. Ostend. 2004. Vol. I. Pp. 3.

2. Lung A., Pincau A. Resistance and toughness of pipeline steels. Crack arrest in cleavage fracture. La revue de Metallurgie – CIT/Science et genie des materiaux. 1995. Pp. 227-239.
3. Benmoussat A., Hadjel M. Corrosion behavior of low carbon line pipe steel in soil environment// The Journal of Corrosion Science and Engineering. 31 January 2005. Vol. 7. ISSN 1466-8858.
4. Soil corrosivity analysis. [http://www.corrosionsurvey.co.kr/viewer/pdf/n\\_02.pdf](http://www.corrosionsurvey.co.kr/viewer/pdf/n_02.pdf)
5. El'tsgol'ts L. E. Differentsial'nye uravneniya i variatsionnoe ischislenie. M. Nauka. 1974. Str. 432.