

Разработка модели процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей

И.С. Деревяшкин, А.А. Медяков, Т.М. Юсупов, А.П. Остащенко
Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола

Аннотация: представлена динамическая модель процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей, включающая пять уровней: уровень толщины стенки трубопровода, уровень замедления утонения стенки трубопровода от показателя рН, уровень ускорения утонения стенки трубопровода от температуры, уровень ускорения утонения стенки трубопровода от концентрации кислорода, уровень замедления утонения стенки трубопровода от показателя карбонатного индекса. В состав переменных включены один уровень состояния, характеризующий процесс утонения стенки трубопровода из-за внутренней коррозии и четыре уровня, характеризующих показатели сетевой воды. Шесть темпов изменения физических показателей характеризуют прирост (динамику) происходящего процесса. Четыре зависимости влияния связывают подсистемы комплекса в единое целое. Приводятся результаты оценки динамики процесса утонения стенки трубопровода в процессе внутренней коррозии за период в 1 год и 5 лет. Представлена программная реализация в среде Mathcad.

Ключевые слова: динамическая модель, внутренняя коррозия трубопроводов, коррозия тепловой сети, фактор коррозии.

В работе [1] отмечается актуальность изучения и предотвращения коррозии металла трубопроводов в воде тепловых сетей, а также выделяются основные зависимости между влияющими факторами и скоростью протекания коррозии. На основании указанных зависимостей и зависимостей, представленных в работах [2-6], была составлена системная динамическая модель процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей. В настоящее время отсутствуют достоверные модели процесса коррозии трубопроводов. В связи с этим на предприятиях применяют различные методы диагностики состояния трубопроводов [7-10], которые являются весьма трудозатратными из-за значительной протяженности технологических трубопроводов.

В состав системной динамической модели процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей входит пять уровней:

- уровень толщины стенки трубопровода;
- уровень замедления утонения стенки трубопровода от показателя рН;

- уровень ускорения утонения стенки трубопровода от температуры;
- уровень ускорения утонения стенки трубопровода от концентрации кислорода;
- уровень замедления утонения стенки трубопровода от показателя карбонатного индекса.

В таблице идентификаторов (табл.1) приведены переменные, описывающие утонение стенки трубопровода от внутренней коррозии.

Таблица № 1

Обозначения элементов системы внутренней коррозии трубопроводов

Номер элемента подсистемы	Идентификатор элемента подсистемы	Вербальное описание элемента подсистемы
1	<i>L</i>	Толщина стенки трубопровода, мм
2	<i>LD</i>	Темп утонения стенки трубопровода прогрессирующий, мм/год
3	<i>LG</i>	Темп утонения стенки трубопровода деградирующий, мм/год
4	<i>H</i>	Показатель pH
5	<i>T</i>	Температура воды, °С
6	<i>O</i>	Содержание кислорода, мг/л
7	<i>U</i>	Карбонатный индекс, (мг·экв/л) ²
8	<i>ULG</i>	Влияние <i>U</i> на темп утонения стенки трубопровода деградирующий, (мм·л ²)/(год·мг ²)
9	<i>HLG</i>	Влияние pH на темп утонения стенки трубопровода деградирующий, мм/(год·ед)
10	<i>OLD</i>	Влияние содержания кислорода на темп утонения стенки трубопровода прогрессирующий, (мм·л)/(год·мг)
11	<i>TLD</i>	Влияние температуры воды на темп утонения стенки трубопровода прогрессирующий, мм/(год·°С)
12	<i>HG</i>	Темп изменения показателя pH, ед/год
13	<i>TG</i>	Темп изменения температуры сетевой воды, °С/год
14	<i>OG</i>	Темп изменения содержания кислорода, мг/л·год

15	<i>UG</i>	Темп изменения карбонатного индекса, $(\text{МГ} \cdot \text{ЭКВ}/\text{Л})^2/\text{ГОД}$
----	-----------	---

В состав переменных включены один уровень состояния, характеризующий процесс утонения стенки трубопровода из-за внутренней коррозии, и четыре уровня, характеризующих показатели сетевой воды. Шесть темпов изменения физических показателей характеризуют прирост (динамику) происходящего процесса. Четыре зависимости влияния связывают подсистемы комплекса в единое целое. Таким образом, система оперирует с пятнадцатью переменными.

Переменные и постоянные параметры системы объединены в структурную диаграмму (рис. 1), на основании которой составляется система дифференциальных уравнений.

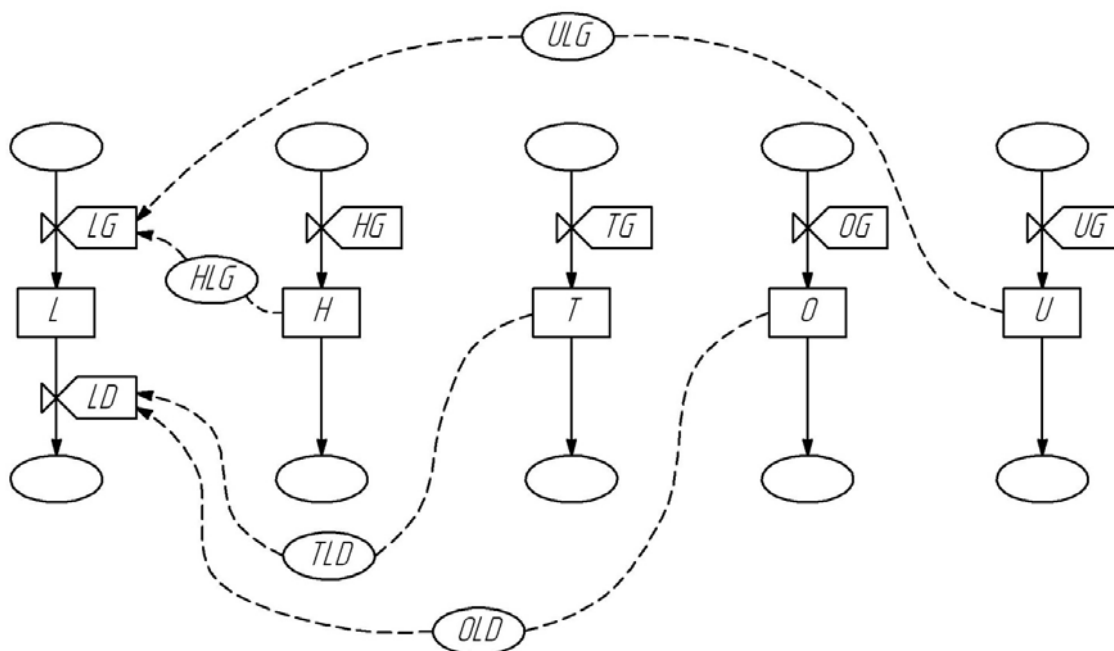


Рис. 1. – Системная диаграмма оценки утонения стенки трубопровода от внутренней коррозии

Элементы системы утонения стенки трубопровода от внутренней коррозии определяются пятью уровнями (L, H, T, O, U) и шестью темпами (LG, LD, HG, TG, OG, UG) (табл. 1). Четыре зависимости влияния ($ULG; HLG; TLD; OLD$) связывают подсистемы между собой (рис. 1).

Системная диаграмма позволяет записать уравнения темпов и уровней:

$$H = H + DT \cdot HG;$$

$$H = 8,3...8,9;$$

$$T = T + DT \cdot TG;$$

$$T = 40...90 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$O = O + DT \cdot OG;$$

$$O = 0,01...0,07 \text{ мг/л};$$

$$U = U + DT \cdot UG;$$

$$U = 0,04...0,9 \text{ (мг/л)}^2;$$

$$L = L + DT \cdot (LG - LD);$$

$$LG = ULG + HLG;$$

$$LD = OLD + TLD.$$

Численные значения переменных системы утонения стенки трубопровода от внутренней коррозии (табл. 2).

Программа расчета показателей системного комплекса выполнена в среде MathCad (рис. 2).

```

L(t) :=
  L ← 5
  LD ← 0
  LG ← 0
  H ← 8.7
  HG ← 1
  U ← 0.228
  UG ← 1
  O ← 0.0185
  OG ← 1
  T ← 86
  TG ← 1
  ULG ←  $\frac{1}{(-438.36662 + 605.10566 \cdot U^{0.070147})}$ 
  HLG ←  $\frac{0.001306}{[1 + (-13.75051) \cdot e^{-0.321839 \cdot H}]}$ 
  OLD ← 0.00483 + 0.20265 · O
  TLD ← 0.002292 + 0.00014 · t
  for DT ∈ 0.. t
    H ← H + DT · HG
    U ← U + DT · UG
    O ← O + DT · OG
    T ← T + DT · TG
    L ← L + DT · (LD - LG)
    LG ← ULG + HLG
    LD ← OLD + TLD
  L
  
```

Рис. 2. – Программа расчета показателей системного комплекса в среде MathCad

Таблица № 2

Численные значения переменных подсистем

Номер элемента подсистемы	Идентификатор элемента подсистемы	Единицы измерения	Численное значение переменной (начальное)
1	<i>L</i>	мм	5
2	<i>LG</i>	мм/год	0

3	<i>LD</i>	мм/год	0
4	<i>H</i>	ед	8,7
5	<i>HG</i>	ед/год	1
6	<i>T</i>	°С	86
7	<i>TG</i>	°С/год	1
8	<i>O</i>	мг/л	0,0185
9	<i>OG</i>	мг/л·год	1
10	<i>U</i>	(мг·экв/л) ²	0,228
11	<i>UG</i>	(мг·экв) ² /л ² ·год	1
12	<i>ULG</i>	(мм·л ²)/(год·мг ²)	$y = \frac{1}{a + b \cdot x^c},$ <p>где $a = -438,36662;$ $b = 605,10566;$ $c = 0,070147;$</p>
13	<i>HLG</i>	мм/(год·ед)	$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-c \cdot x}},$ <p>где $a = 0,001306;$ $b = -13,750511;$ $c = 0,321839;$</p>
14	<i>OLD</i>	(мм·л)/(год·мг)	$y = a + b \cdot x,$ <p>где $a = 0,00483;$ $b = 0,20265;$</p>
15	<i>TLD</i>	мм/(год·°С)	$y = a + b \cdot x,$ <p>где $a = 0,002292;$ $b = 0,00014;$</p>

В имитационном режиме выполнена оценка динамики показателей системного комплекса (рис. 3 и рис. 4).

В качестве временного интервала прогноза выбраны периоды 1 и 5 лет.

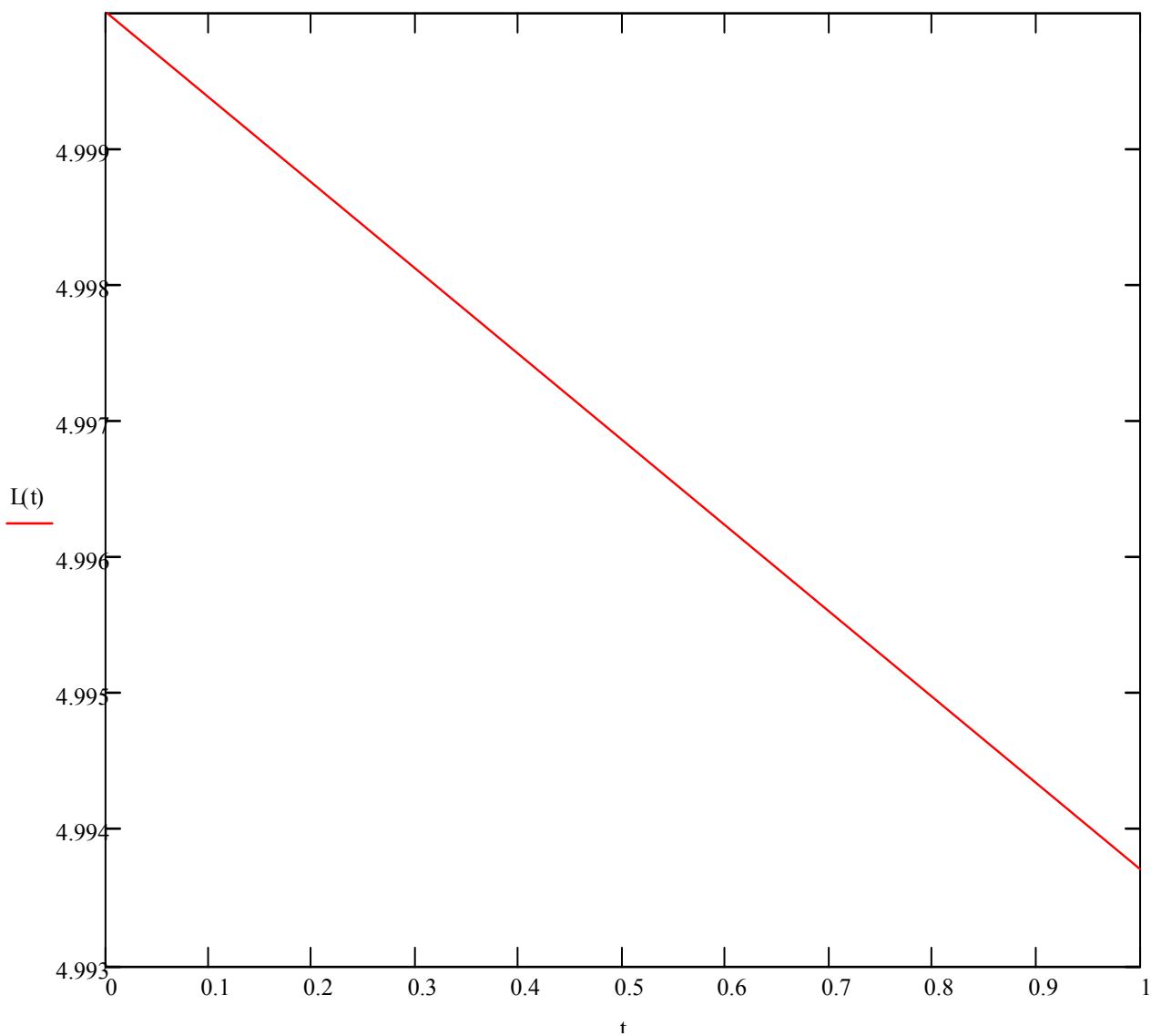


Рис. 3. – Динамика процесса утонения стенки трубопровода
за период в один год

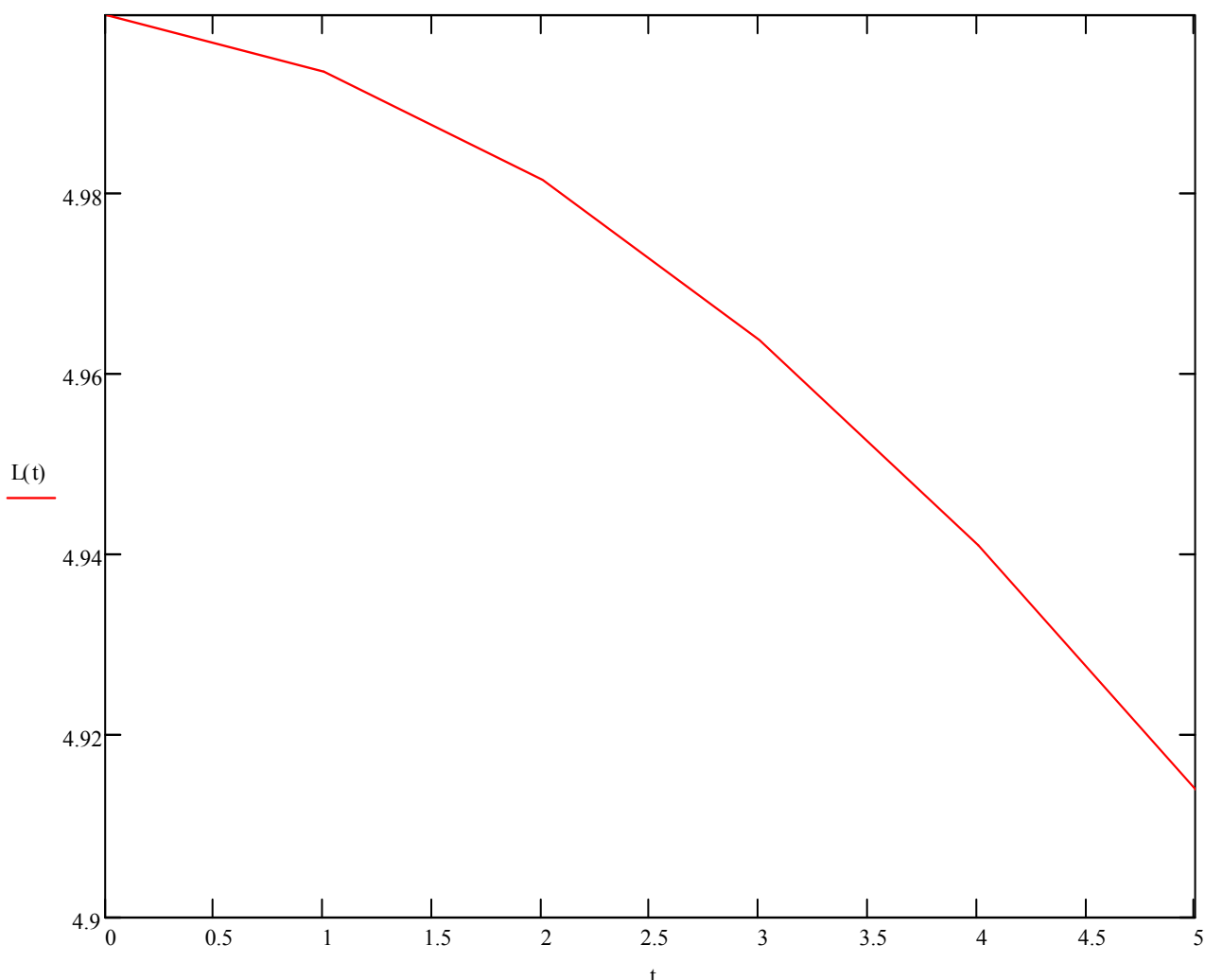


Рис. 4. – Динамика процесса утонения стенки трубопровода за период в пять лет

Таким образом, разработана системная динамическая модель процесса внутренней коррозии трубопроводов тепловых сетей, позволяющая смоделировать процесс утонения стенки трубопровода для конкретных условий эксплуатации за различный период времени. С использованием разработанной модели получены результаты моделирования процесса утонения стенки трубопровода за период 1 год и 5 лет, которые достаточно согласуются с практическими данными.

Литература

1. Балабан-Ирменин Ю. В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.14. М., 2001. 246 с.
 2. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1976. 472 с.
 3. Методические указания по водоподготовке и водно-химическому режиму водогрейного оборудования и тепловых сетей. СО 153-34.37.506-88. М., 1996. 50 с.
 4. Шарапов А.А., Родионова И.Г., Бакланова О.Н. и др. Повышение коррозионной стойкости сталей для труб тепловых сетей путем обеспечения чистоты по коррозионно-активным неметаллическим включениям // Новости теплоснабжения. 2005. № 9. С. 41-45.
 5. Bornak W.E. Chemistry of iron and its corrosion products in boiler system // Corrosion. 1988. Vol. 44. № 3. pp. 154-158.
 6. Jntire G.M., Lippert G-, Yundelson J. Influence of dissolved carbon dioxide and oxygen on corrosion of iron // Corrosion. Vol. 46. № 2. pp. 91-95.
 7. Nasrazadani S., Raman A. The application of infrared spectroscopy to the study of rust systems – II. Study of cation deficiency in magnetite (Fe_3O_4) produced during its transformation to maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) and hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Corrosion Science. 1993. pp. 1355-1365.
 8. Пащенко Е.И. Анализ причин снижения ресурса тепловых сетей // Журнал «Новости теплоснабжения». 2001, № 12. С. 33-35.
 9. Кузнецов Д.М., Гапонов В.Л., Коробков М.С. и др. Акустический способ контроля электрохимических процессов// Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2342/.
 10. Соколовская О.В., Зибров В.А., Курнаков В.А. Структурный мониторинг водопроводных сетей на основе пьезокерамических датчиков //
-



Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1989/.

References

1. Balaban-Irmenin YU. V. Zashchita ot vnutrennej korrozii truboprovodov vodyanyh teplovyh setej [Protection against internal corrosion of pipelines of water heating networks]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.14.14. M., 2001. 246 p.
2. ZHuk N.P. Kurs teorii korrozii i zashchity metallov [Theory of corrosion and protection of metals]. Moscow: Metallurgiya, 1976. 472 p.
3. Metodicheskie ukazaniya po vodopodgotovke i vodno-himicheskomu rezhimu vodorejnogo oborudovaniya i teplovyh setej [Methodical instructions on water treatment and water-chemical regime of water-heating equipment and heat networks]. SO 153-34.37.506-88. Moscow, 1996. 50 p.
4. Sharapov A.A., Rodionova I.G., Baklanova O.N. i dr. Novosti teplosnabzheniya. 2005. № 9. pp. 41-45.
5. Bornak W.E. Chemistry of iron and its corrosion products in boiler system. Corrosion. 1988. Vol. 44. № 3. pp. 154-158.
6. Jntire G.M., Lippert G-, Yundelson J. Influence of dissolved carbon dioxide and oxygen on corrosion of iron. Corrosion. Vol. 46. № 2. pp. 91-95.
7. Nasrazadani S., Raman A. The application of infrared spectroscopy to the study of rust systems – II. Study of cation deficiency in magnetite (Fe_3O_4) produced during its transformation to maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) and hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Corrosion Science. 1993. pp. 1355-1365.
8. Pashchenko E.I. ZHurnal «Novosti teplosnabzheniya». 2001, № 12. pp. 33-35.
9. Kuznecov D.M., Gaponov V.L., Korobkov M.S. i dr. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2342/.



10. Sokolovskaya O.V., Zibrov V.A., Kurnakov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1989/.