

**Б.Ж. Манапбаев<sup>1</sup>, Б.А. Алимбаев<sup>2</sup>, Е.Н. Аманбаев<sup>3</sup>, Н.А. Абиев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Т.ғ.к., доцент, <sup>2</sup>Т.ғ.д., профессор, <sup>3</sup>аға оқытушы, <sup>1</sup>ф-м.ғ.к., доцент  
М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қаласы

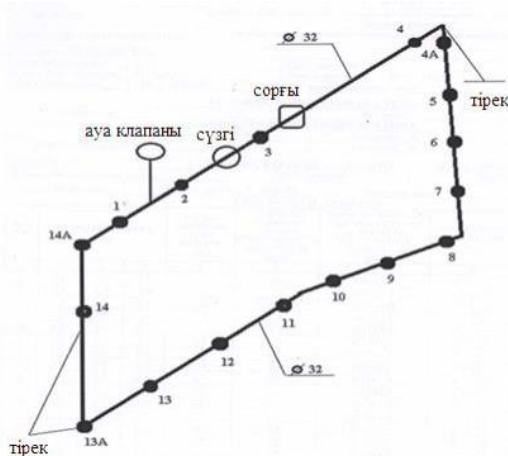
## БОЛАТ ҚҰБЫРЛАРДЫҢ ІШКІ КОРРОЗИЯСЫНЫҢ ДАМУЫН ЛАБОРАТОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа.** Жұмыста болат құбырларында коррозияның даму жолдары қарастырылады. Болат құбырлардың әртүрлі бөліктеріндегі ішкі коррозияның дамуын компьютерлік модельдеу нәтижелері ұсынылған.

**Түйін сөздер:** ішкі коррозия, болат құбырлар, құбырдың бұрылу бұрышы, иін, бұрылыс, компьютерлік модельдеу.

Кез келген өндірістік болат құбырлары жер бетінің рельефіне байланысты өздерінің атқару жұмыстарына қарай әр түрлі бұрыштарда орналасуы мүмкін. Олар бірнеше бөліктерге бөлінеді: түзу сызықты, қисық сызықты және тік 90° бұрылу. Қисық сызықты және тік 90° бұрылатын құбырлар бөліктерінің ішінде коррозия сұйықтың ағысына қарай қатты дамидынын біздің зерттеулер көрсетті [1-5].

Болат құбырлардың тік сызықты және қисық сызықты (иін мен бұрылыстар) бөліктеріндегі ішкі қабырғаларында пайда болатын металдың коррозияға ұшырау себептерін зерттеу үшін біз арнайы қондырғы жасақтадық. Бұл қондырғы сорғыдан, диаметрі Ø32x3 болатын әр түрлі бұрыштармен дәнекерленген құбырлардан, сүзгіден, ауа клапаны және тіреуіштерден тұрады. Сұйықтық сорғының көмегімен айналатын, біз жасаған қондырғыда тік сызықты, қисық сызықты және 90°-қа бұрылатын болат құбырлардың учаскелері бар (1-сурет).



1-сурет – Қондырғыдағы өлшеу нүктелерінің орналасу сұлбасы

Тәжірибені ұтымда өткізу мақсатында, яғни коррозияның даму жылдамдығын тездету үшін құрылғының ішіне тәжірибе өткізуде суға тұз қосып, оны жалпы тәжірибелерде қолдануға қабылданған [6] NaCl 3,5% тұзды ерітіндісіне дейін жеткізіп пайдаландық.

Конструкцияның жоғарғы бөлік ортасына сорғы орнатылған, ол 3,5% NaCl ерітіндісін жүйеге айдап отырады. Сорғы уақыт релесімен қосылған, 1 сағат үздіксіз жұмыс істейді, 20 минут тоқтап тұрады. Болат құбырлардың желісі қабырғалар қалыңдығы ультрадыбыстық қалыңдық өлшегішпен УТ-301 (МЕСТ 28702-90) өлшенді. Түрлендіргіш типі – 5Б12/2-5,0 МГц. Негізгі материал – диаметрі Ø32x3,0 құбырлар (Сталь 10, ГОСТ 1050-88).

Құбырлардың қабырғасының қалыңдығы 3, 8 және 12 ай өткенде 17 нүкте бойынша өлшенді. Құбырлардың түзу сызықты бөліктерінде коррозияның даму жылдамдығы – 0,2 мм/жыл тең, тік 90° бұрылатын құбырлар бөліктерінде – 0,833 мм/жыл тең, ал қисық сызықты бөліктерде – 0,375 мм/жыл тең болды. Қисық сызықты құбырлардың бөліктерінде коррозия түзу сызықты бөлікке қарағанда 1,875 есе, ал тік 90° бұрылатын құбырлардың бөліктеріне қарағанда 4,165 есе артық жүрген. Осы зерттеулердің нәтижелері келесі жұмыстарда [1-5] тиісті деңгейде талданып жарияланды. Сонымен қатар, талдаулар құбырдың бұрылыстар бұрыштарындағы №4А, 5, 8, 13А, 14А өлшеу нүктелерінде құбыр қабырғасының қалыңдығы айтарлықтай кішірейгенін көрсетті. Әсіресе, мұндағы құбырдың бұрылу бұрышы 90°-қа жақындаған сайын коррозия көбірек дамыды.

Лабораториялық зерттеулер нәтижесін компьютерлік модельдеу үшін Maple бағдарламалық кешені қолданылды. Ол үшін біздер тік сызықты (1-суреттегі №1, 2, 3, 4, 7, 12, 14 өлшеу нүктелері), қисық сызықты (1-суреттегі №6, 9, 10, 11, 13 өлшеу нүктелері) және 90°-қа бұрылатын (1-суреттегі №4А, 5, 8, 13А, 14А өлшеу нүктелері) болат құбырлардың учаскелерінде құбыр қабырғасы қалыңдығының (жұқаруының) коррозиялық ортада болу уақытына тәуелділігін әрқайсысына бөлек модельдеу арқылы қарастырдық.

Тік сызықты (№1,2,3,4,7,12,14 нүктелері) болат құбырлардың учаскелері.

> n := 6

n := 6

> a := 0; b := n

a := 0

b := 6

$$\begin{aligned}
 & \text{for } i \text{ from } 0 \text{ to } n \text{ do } u_i := a + \frac{b-a}{n} \cdot i \text{ end do} \\
 & u_0 := 0, u_1 := 1, u_2 := 2, u_3 := 3, u_4 := 4, u_5 := 5, u_6 := 6
 \end{aligned} \tag{1}$$

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 3 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

>  $t3[0] := 2.9; t3[1] := 3; t3[2] := 2.9; t3[3] := 2.9; t3[4] := 3; t3[5] := 3; t3[6] := 2.8;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

$$\begin{aligned}
 &> \omega := 1 : \\
 &> \text{for } i \text{ from } 0 \text{ to } n \text{ do } \omega := \omega \cdot (x - u_i) \text{ end do:} \\
 &> \tau := \text{diff}(\omega, x) : \\
 &> p3_n := 0 : \\
 &> \text{for } i \text{ from } 0 \text{ to } n \text{ do } p3_n := p3_n + t3[i] \cdot \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_p, \tau)} \text{ end do:} \\
 &> \text{collect}(p3_n, x, \text{evalf})
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 &2.900000000 + 0.000277777729x^6 - 0.003333333334x^5 + 0.0027777776x^4 \\
 &+ 0.0916666700x^3 - 0.35305555x^2 + 0.36166666x
 \end{aligned}$$

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 8 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

>  $t8[0] := 2.9; t8[1] := 2.9; t8[2] := 2.8; t8[3] := 2.8; t8[4] := 2.9; t8[5] := 2.9; t8[6] := 2.8;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

$$\begin{aligned}
 &> p8_n := 0 : \\
 &> \text{for } i \text{ from } 0 \text{ to } n \text{ do } p8_n := p8_n + t8[i] \cdot \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_p, \tau)} \text{ end do:} \\
 &> \text{collect}(p8_n, x, \text{evalf})
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 &2.900000000 + 0.000555555549x^6 - 0.008333333224x^5 + 0.0388888876x^4 \\
 &- 0.0416666760x^3 - 0.08944444x^2 + 0.10000000x
 \end{aligned}$$

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 12 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

>  $t12[0] := 2.8; t12[1] := 2.8; t12[2] := 2.8; t12[3] := 2.8; t12[4] := 2.8; t12[5] := 2.8; t12[6] := 2.8;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

$$\begin{aligned}
 &> p12_n := 0 : \\
 &> \text{for } i \text{ from } 0 \text{ to } n \text{ do } p12_n := p12_n + t12[i] \cdot \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_p, \tau)} \text{ end do:}
 \end{aligned} \tag{4}$$

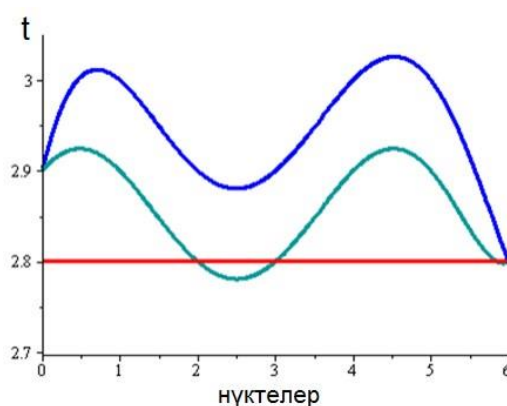
$$\begin{aligned} &> \text{collect}(p12_n, x, \text{evalf}) \\ &2.800000000 - 1.10^{-12}x^6 - 4.10^{-11}x^5 + 6.10^{-10}x^4 - 4.010^{-9}x^3 + 1.10^{-8}x^2 \end{aligned}$$

Нәтижесінде 2-суретте келтірілген компьютерлік модельдеу графиктері алынды.

```

> l3 := plot(p3_n, x = a..b, numpoints = 2500, color = blue, thickness = 3, legend
= «Тік сызықты болат құбырлардың учаскелерінде қабырға қалыңдығы (3 айдан кейінгі өлшеу)»);
> l8 := plot(p8_n, x = a..b, numpoints = 2500, color = "Teal", thickness = 3, legend
= «Тік сызықты болат құбырлардың учаскелерінде қабырға қалыңдығы (8 айдан кейінгі өлшеу)»);
> l12 := plot(p12_n, x = a..b, numpoints = 2500, color = red, thickness = 3, legend
= «Тік сызықты болат құбырлардың учаскелерінде қабырға қалыңдығы (12 айдан кейінгі өлшеу)»);
> display([l3, l8, l12], view = [0 ..n, 2.7 ..3.05])

```



2-сурет. Тік сызықты (№1,2,3,4,7,12,14 нүктелері) болат құбырлардың учаскелерінде уақытқа байланысты қабырға қалыңдығының коррозиядан жұқаруы (көк түспен – 3 айдан кейінгі, жасыл түспен – 8 айдан кейінгі, қызыл түспен – 12 айдан кейінгі өзгерістер)

Тура осы жолды пайдаланып, қисық сызықты (№6,9,10,11,13 нүктелері) болат құбырлардың учаскелеріндегі көрсеткіштерге модельдеу жүргіземіз.

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 3 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

```

> t3[0] := 2.9; t3[1] := 2.6; t3[2] := 2.9; t3[3] := 2.9; t3[4] := 2.6;

```

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do p3_n := p3_n + t3[i] * \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)} end do;
> collect(p3_n, x, evalf)
2.899999999 + 0.037500000x^4 - 0.3749999998x^3 + 1.162499996x^2 - 1.124999999x

```

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 8 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

>  $t8[0] := 2.8; t8[1] := 2.6; t8[2] := 2.7; t8[3] := 2.8; t8[4] := 2.6;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do  $p\delta_n := p\delta_n + t8[i] \cdot \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)}$  end do:
> collect( $p\delta_n, x, \text{evalf}$ )
2.800000001 - 0.0499999998x3 + 0.2999999996x2 - 0.450000001x
    
```

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 12 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

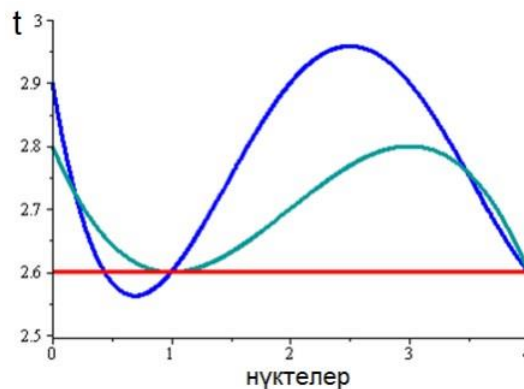
>  $t12[0] := 2.6; t12[1] := 2.6; t12[2] := 2.6; t12[3] := 2.6; t12[4] := 2.6;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do  $p12_n := p12_n + t12[i] \cdot \frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)}$  end do:
> collect( $p12_n, x, \text{evalf}$ )
2.5999999999 + 2 \cdot 10^{-10}x^3 - 4 \cdot 10^{-9}x^2 + 1 \cdot 10^{-9}x
    
```

Нәтижесінде 3-суретте келтірілген компьютерлік модельдеу графиктері алынды.



3-сурет. Қисық сызықты (№6,9,10,11,13 нүктелері) болат құбырлардың учаскелерінде уақытқа байланысты қабырға қалыңдығының коррозиядан жұқаруы (көк түспен – 3 айдан кейінгі, жасыл түспен – 8 айдан кейінгі, қызыл түспен – 12 айдан кейінгі өзгерістер)

Жоғарыда келтірілген жолды пайдаланып, 90°-қа бұрылатын (№4А, 5, 8, 13А, 14А нүктелері) болат құбырлардың учаскелеріндегі көрсеткіштерге модельдеу жүргіземіз.

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 3 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

>  $t3[0] := 2.8; t3[1] := 2.8; t3[2] := 2.6; t3[3] := 2.6; t3[4] := 2.8;$

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do p3_n := p3_n + t3[i] *  $\frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)}$  end do;
> collect(p3_n, x, evalf)
2.800000001 - 0.01666666666x^4 + 0.16666666658x^3 - 0.483333328x^2 + 0.333333331x

```

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 8 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

```

> t8[0] := 2.1; t8[1] := 2.2; t8[2] := 2.3; t8[3] := 2.5; t8[4] := 2.2;

```

Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do p8_n := p8_n + t8[i] *  $\frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)}$  end do;
> collect(p8_n, x, evalf)
2.100000000 - 0.02916666673x^4 + 0.1916666670x^3 - 0.370833335x^2 + 0.308333335x

```

Болат құбырлар қабырғасының қалыңдығын 12 айдан кейінгі өлшеу нәтижелерін енгіземіз.

```

> t12[0] := 2; t12[1] := 2.1; t12[2] := 2.2; t12[3] := 2.3; t12[4] := 2.1;

```

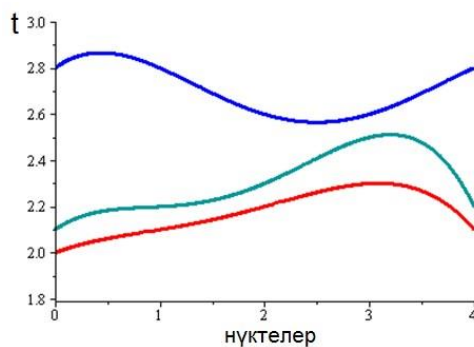
Құбыр қабырға қалыңдығының өзгеруін болжамдайтын модельді функцияны тұрғызу.

```

> for i from 0 to n do p12_n := p12_n + t12[i] *  $\frac{\omega}{(x - u_i) \cdot \text{subs}(x = u_i, \tau)}$  end do;
> collect(p12_n, x, evalf)
2. - 0.01249999997x^4 + 0.0750000000x^3 - 0.1374999990x^2 + 0.174999999x

```

Нәтижесінде 4-суретте келтірілген компьютерлік модельдеу графиктері алынды.



4-сурет. 90°-қа бұрылатын (№4А,5,8,13А,14А нүктелері) болат құбырлардың учаскелерінде уақытқа байланысты қабырға қалыңдығының коррозиядан жұқаруы (көк түспен – 3 айдан кейінгі, жасыл түспен – 8 айдан кейінгі, қызыл түспен – 12 айдан кейінгі өзгерістер)

Лабораториялық зерттеулер нәтижелерін алынған компьютерлік модельдермен салыстырғанда бірдей қорытынды шығатындығы анықталды. Сәйкесінше, Maple бағдарламалық кешенін қолданып алынған лабораториялық зерттеулер нәтижелерінің компьютерлік модельдері болат құбырлардың учаскелерінде уақытқа байланысты қабырға қалыңдығының коррозиядан жұқаруын болжамдауға мүмкіндік береді.

**Әдебиеттер:**

1. Аманбаев Е., Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж. Особенности развития коррозии на углах поворотов в трубных стальных конструкциях// «Вестник КазГАСА». – Алматы, 2016. – №4. – С. 71-75.
2. Аманбаев Е.Н. Болат құбырлар конструкцияларындағы коррозияның дамуын зерттеу// «Вестник КазГАСА». – Алматы, 2017. – №4. – С. 78-82.
3. Аманбаев Е., Алимбаев Б.А., Манапбаев Б.Ж. Влияние расположения в плоскости стальных трубных конструкции гидротехнических сооружений на скорость развития коррозии// «Вестник КазГАСА». – Алматы, 2018. – №1. – С. 99-104.
4. Amanbayev E., Alimbayev B., Manapbayev B., Djanuzakova R. Internal propagation behavior on the turning angles in steel pipes// *Manufacturing Technology*. – June 2019. – Vol.19. – No.3. – P. 359-365.
5. Манапбаев Б.Ж., Әлімбаев Б.А., Аманбаев Е.Н. Болат құбырлардың бұрылған жерлерінде ішкі коррозияның дамуын шынайы зерттеу// «Вестник КазГАСА». – Алматы, 2020. – №2. – С. 156-162.
6. *Uhlig's corrosion handbook / edited by R. Winston Revie–3rd ed. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2011.*

*Рассматриваются пути развития коррозии в стальных трубах. Представлены результаты компьютерного моделирования развития внутренней коррозии на различных участках стальных труб.*

**Ключевые слова:** внутренняя коррозия, стальные трубы, угол поворота трубы, колена, отвод, компьютерное моделирование.

*Discusses the development of corrosion in steel pipes. The results of computer simulation of internal corrosion development in various sections of steel pipes are presented.*

**Key words:** internal corrosion, steel pipes, pipe rotation angle, bend, computer simulation.