

УДК 620.193

МРНТИ 81.33.07

<https://doi.org/10.31643/2019/6445.13>

**НАРИВСКИЙ А. Э.¹, СУББОТИН С. А.², БЕЛИКОВ С. Б.², ЯР-МУХАМЕДОВА Г. Ш.³,
КЕМЕЛЖАНОВА А. Е.^{3*}**

¹ЖШҚ “Укрспецмаш”, Бердянск, Украина

²Запорожське ұлттық техникалық университеті, Запорожье, Украина

³Әль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, ЭжТФФЗИ, Алматы, Қазақстан

*e-mail: aiman_90.08@mail.ru

AISI304 БОЛАТТЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ МЕН ОНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ГЕТЕРОГЕНДІГІ ЖӘНЕ АЙНАЛЫМ СУЛАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНІҢ ПИТТИНГКЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНА ӘСЕРІ

Received: 19 February 2019 / Peer reviewed: 23 April 2019 / Accepted: 02 May 2019

Түйіндеме. Осы жұмыста, жылу алмастырғыштарды дайындау мен қолдану кезіндегі тәжірибелік нұсқауларды әзірлеу мақсатында AISI304 болаттың химиялық құрамы мен оның гетерогендік құрылымдарының және айналым суларының параметрлерінің питтингке тұрақтылығына әсерлерін зерттеулері келтірілген. Зерттеулерді сараптау нәтижесінде AISI304 болаттың және айналым сулардың параметрлерінің питтингке тұрақтылыққа әсері бойынша регрессиялық модельдері құрылды: бірінші реттік сызықтық модель, екінші реттік модель, бірінші реттік модель дербестерімен бірге екінші реттік модель және белгілердің қысқартылған саны бар сызықтық модель. Осы модельдерді сараптау кезінде модельді айналым суларындағы болаттың питтингке тұрақтылығына көбінесе судағы хлоридтері мен болаттың құрылымды тотықтарының арақашықтығы әсер беретіні көрсетілді. Ал болаттың питтингке тұрақтылық критериялары бір шама аз әсер беретін көрсетілді, яғни x_3 – наноөлшемді аустенит түйіршігінің орташа диаметрі және x_{10} – Cr құрамы.

Түйін сөздер: коррозия, питтингке тұрақтылық, құрамында хлорид бар ерітінді, AISI304 болат

NARIVS'KYI O. E.¹, SUBBOTIN S. A.², BELIKOV S. B.², YAR-MUKHAMEDOVA G. Sh.³, KEMELZHANOVA A. E.³

¹“Ukrspetsmash” LLC, Berdyansk, Ukraine,

²Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine,

³Al-Farabi Kazakh National university, Institute of Experimental and Theoretical physics, Almaty, Kazakhstan.

INFLUENCE OF CIRCULATING WATERS' PARAMETERS, CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURAL HETEROGENEITY OF AISI304 STEEL ON ITS PITTING RESISTANCE

Abstract. The goal of the work was to study the affect of the parameters of steel and circulating waters on the pitting resistance of AISI304 steel to develop practical recommendations for its use when manufacturing and operating heat exchangers. Based on the analyzed results of the study of how the AISI304 steel and circulating waters' parameters affect its pitting resistance, there were plotted regression models: a first-order linear model, a second-order model, a second order-model with first order quotients, and a linear model with a reduced number of indications. The analysis of these models has showed that the pitting resistance of the steel in model circulating waters is most affected by its chloride content and the average distance between oxides in the steel. The indications x_3 (average diameter of austenite grains) and x_{10} (Cr content) have a slightly lesser affect the steel's pitting resistance criterion.

Key words: corrosion, pitting resistance, chloride-containing solution, steel, heat exchangers.

НАРИВСКИЙ А. Э.¹, СУББОТИН С. А.², БЕЛИКОВ С. Б.², ЯР-МУХАМЕДОВА Г. Ш.³, КЕМЕЛЖАНОВА А. Е.³

¹ООО “Укрспецмаш”, г. Бердянск, Украина

²Запорожский национальный технический университет», Запорожье, Украина

³Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, НИИЭТФ, Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРОТНЫХ ВОД, ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СТРУКТУРНОЙ ГЕТЕРОГЕННОСТИ СТАЛИ AISI304 НА ЕЕ ПИТТИНГОСТОЙКОСТЬ

Резюме. В статье предсталенны исследования влияния параметров стали и оборотных вод на питтингостойкость стали AISI304 с целью выработки практических рекомендаций по ее использованию при изготовлении и

эксплуатации теплообменников. В результате анализа результатов исследования влияния параметров стали AISI304 и оборотной воды на ее питтингостойкость построены регрессионные модели: линейная модель первого порядка, модель второго порядка, модель второго порядка с частными первого порядка и линейная модель с сокращенным числом признаков. Анализ этих моделей показал, что наиболее значительное влияние на питтингостойкость стали в модельных оборотных водах, оказывает содержание в ней хлоридов и среднее расстояние между включениями оксидов в стали. Несколько меньшее влияние на критерий питтингостойкости стали оказывают признаки x_3 – средний диаметр зерна аустенита и x_{10} – содержание Сг.

Ключевые слова: Коррозия, питтингостойкость, хлоридосодержащий раствор, сталь, теплообменники.

Кіріспе Аустенитті болаттар мен оның қорытпаларынан (AISI304, AISI321, AISI316L(Ti), 06ХН28МДТ) жасалған пластиналы және қаптамалы жылу алмастырғыштар көбінесе айналмалы сулардағы құрамындағы хлорид-иондарының әсерінен питтингтік коррозияға ұшырайды. Сонымен қатар осы жабдықтардың жылу беру элементтерінің қалыңдығы 0,2-ден 1,0 мм-ге дейін (пластиналы жылу бергіштер үшін) және қаптамалы құбырлы жылу алмастырғыштар үшін 0,8-ден 3,0 мм-ге дейін өзгереді. Сондықтан айналмалы судің әсерінен питтингтік коррозияның пайда болуы мен дамуы жылу алмастырғыш пластиналарының эксплуатациясының бірнеше ай бойы перфорациясына ықпал етеді [1–4].

Жұмыстың мақсаты – жылу алмастырғыштар дайындау және эксплуатация кезінде қолданылуы бойынша тәжірибелік ұсыныс жасау бағытында айналмалы сулардың әсерінен AISI304 болатының питтингке тұрақтылығын зерттеу болып табылады.

Отандық және шет елдік ғалымдардың хлорқұрамдас орталарды [5–7], болат пен қорытпаларының химиялық құрамдары [8–10] мен құрылымдардың [11–14] питтингке тұрақтылыққа әсерін зерттеулері көптеген назарын аудартуда. Алайда, бұл зерттеулер негізінен хлорид-иондардың өте жоғары мөлшері бар модельді ерітінділерде жүргізілуде (3% NaCl сулы ерітіндісінде). Сонымен қатар айналмалы сулардағы хлоридтердің мөлшері қолданылатын ерітіндіден біршама есе аз. Ал 3 % NaCl ерітіндісінде болаттар мен қорытпаларды питтингке тұрақтылығын электрохимиялық әдістерді қолдану тек олардың коррозияның осы түріне қатысты тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Сондықтан айналмалы сулардағы жылу алмастырғыштар материалдарының питтингке тұрақтылығын болжау үшін мұндай зерттеулердің нәтижелері іс жүзінде жарамсыз болып табылады.

Бұл мәселелерді шешу үшін 2003-2015 жылдар аралығында "Павлоградхиммаш" ААҚ және ЖАҚ "Азов машина жасау" зауыттарында

Запорожск ұлттық техникалық университетінің ғылыми-зерттеу бағдарламасы шеңберінде AISI304 (08X18H10), AISI321 (12X18H10T), 06ХН28МДТ қорытпалардың питтингке тұрақтылығы мен олардың химиялық құрамы мен құрылымдық гетерогентік өлшемдерінің арасында регрессиялық тәуелділіктерді орнатуға мүмкіндік беретін жүйелі ғылыми зерттеулер жүргізілді [1, 15–19]. Одан басқа, [4, 20-24] жұмыстарында, модельдік айналым суларындағы питтингтік коррозияға ұшыраған кезде жоғарыда аталған болаттар мен қорытпалардың бетіндегі питтингтердің өсу жылдамдығын анықтау әдістемесі ұсынылған. Зерттеудің осы кезеңінде метастабилдік және тұрақты питтингтерді сәйкестендіру мәселесі де шешілген [4, 25]. Алайда, жүргізілген зерттеулердің жеткіліксіздігі – болаттар мен қорытпалардың және айналым сулар параметрлерінің маңыздылығы мен олардың жылу алмастырғыштардың жұмысында қолданылатын айналым суларындағы питтингке тұрақтылығына әсері бойынша бағаламау болып табылады. Оның үстіне бұдан басқа, алынған регрессиялық тәуелділіктерді пайдалана отырып болаттар мен қорытпалардың питтингке тұрақтылық критерийлерінің анықтау қателігі айтарлықтай жоғары болуында.

Сондықтан осы келтірілген кемшіліктерді жою үшін осы жұмыстың мақсаты – модельді айналым сулардағы AISI304 болаттын питтингке тұрақтылық критериймен оның химиялық тұрақтылығы және құрылымының байланыстарын сипаттайтын математикалық модельдерді құру.

Эксперименталдық бөлім. Жұмыс барысында AISI304 болаттың бес балқымалары зерттелді. Болаттың химиялық құрамы мен оның құрылымдық гетерогендігі алдын ала [1, 15] жұмыстарында анықталған. рН 4...8 және 350; 400; 500; 550 және 600 мг/л хлоридтердің концентрациясы бар модельдік айналым суында болаттың питтинг түзілуінің шектік температуралары (ПШТ) [15] жұмысында анықталды.

Математикалық моделдерді құру үшін AISI304 болаттың питтингте тұрақтылық критерісін (ПШТ, y) есептеуге мүмкіндік беретін келесі параметрлерді қолдандық:

- моделді айналым сұлардың параметрлеріне байланысты ол - x_1 - айналымдағы судың рН, x_2 - айналымдағы судағы хлоридтердің (СГ) мөлшері,

- болаттың құрылымдық гетерогендігі параметрлеріне байланысты ол - x_3 - аустенит түйіршігінің орташа диаметрі (d_d), x_4 - оксидтердің көлемі ($V_{ок}$), x_5 - титан оксидтерінің арасындағы орташа қашықтығы ($L_{ок}$), x_6 - болаттағы дельтаферриттің саны (P_α),

- болаттың химиялық құрамына байланысты ол - x_7 -болаттағы көміртегі (С) мөлшері, x_8 -болаттағы марганец (Mn) мөлшері, x_9 -болаттағы кремний (Si) мөлшері, x_{10} - болаттағы хром (Cr) құрамы, x_{11} - болаттағы никель (Ni) мөлшері, x_{12} - болаттағы азот (N) мөлшері, x_{13} -болаттағы титан (Ti) мөлшері, x_{14} - болаттағы күкірт (S) мөлшері, x_{15} -болаттағы фосфор (P) мөлшері.

Модельдерді құру үшін көп өлшемді сызықты емес полиномдар ретінде қарастыруға болатын база ретінде әртүрлі тәртіптегі көп өлшемді сызықтық регрессиялар [27], сондай-ақ сигналды тікелей таратудың нейрондық желілері қолданылған [28].

Қарапайым жағдайда бірінші ретті көп өлшемді сызықтық регрессия [27] мына түрге ие болады:

$$y^s = \sum_{j=1}^N w_j x_j^s, s=1, 2, \dots, S,$$

бұнда: y^s - іріктеменің s -ші экзепляры (бақылау) үшін шығу белгісінің мәні, w_j - j -ші белгінің салмағы, x_j^s - іріктеменің j -ші экзепляры белгісінің мәні, N - іріктеменің экзеплярды сипаттайтын белгілер саны, S - іріктемелер көлемі.

Бір реттік шығу жолы болатын, тура бағытталған нейрондық желі [28] келесі түрде сипатталуы мүмкін. Кіру желісіне анықталатын экзеплярдың белгілерінің мәні түседі: j -ші белгінің мәні желінің бірінші қабатының әрбір i -ші нейронның j -ші кірісіне түседі, η -қабатының нейронның j -ші шығысының мәні келесі $(\eta+1)$ -желі қабатының әрбір i -ші нейронның j -ші кірісіне түседі. Әрбір қабаттың ішінде нейрондар өзара байланыспаған. Желіде кері байланыс, сондай-ақ тізбекті қабаттардан басқа

қабат арқылы тікелей байланыс жоқ. Желінің соңғы қабатының жалғыз нейронының шығуы шығыс айнимасына сәйкес келеді. η -ші қабаттың i -ші нейронының функциялануы келесі формуламен сипатталады:

$$y^{(\eta,i)} = \psi^{(\eta,i)} \left(w_0^{(\eta,i)} + \sum_{j=1}^{N_\eta} w_j^{(\eta,i)} x_j^{(\eta,i)} \right),$$

бұнда: $y^{(\eta,i)}$ - нейрондық желінің η -ші қабатының i -ші нейронының шығысындағы мәні, $w_j^{(\eta,i)}$ - η -ші қабаттың i -ші нейронының j -ші шығысының салмақтық коэффициенті (салмақ), $x_j^{(\eta,i)}$ - η -ші қабаттың i -ші нейронының j -ші шығысындағы мәні, N_η - желінің η -ші қабатындағы нейрондар саны.

Синтезделген үлгілердің сапасын бағалау үшін лездік қателер квадраттарының қосындысы қолданылды [27, 28]:

$$E = \sum_{s=1}^S (y^s - y^{s*})^2,$$

бұнда: y^s - белгілі модельге сай таңдалымның s -ші экзепляры (бақылау) үшін шығыс белгісінің факты мәні, y^{s*} - белгілі модельге сай таңдалымның s -ші экзепляры (бақылау) үшін шығыс белгілерінің есептік мәні, S - таңдалымның көлемі.

Көп өлшемді сызықтық регрессиялық модельдер коэффициенттерінің мәнін табу үшін ең аз квадраттар әдісі қолданылған [27], ал нейромодельдерді құру үшін - Левенберг-Марквардт әдісі [29] және қателікті кері тарату әдісі негізінде жеке туындыларды есептеу техникасы қолданылған [28].

Эксперименталды алынған бақылаулар үлгісінің негізінде [1] көп өлшемді сызықтық регрессиялық модель алынды:

$$\begin{aligned} \text{КТП}(y) = & w_0 + 0,32934pH - 0,053423\text{Cl}^- + \\ & + 0,049534d_3 + 0,024811L_{ок} - 3,6591\text{Mn} + \\ & + 2,2966\text{Cr} + 0,060093\text{Ni}. \end{aligned} \quad (1)$$

(1) модельге сәйкес айналымдағы судың рН, аустенит түйіршігінің орташа диаметрі (d_d), оксидтер кірінділердің арақашықтығы ($L_{ок}$), Cr, Ni құрамы ұлғайғанда және хлоридтер құрамы азайғанда, сондай-ақ болаттағы марганецтің (Mn) құрамы азайғанда питтинг түзудің критикалық температурасы өседі. AISI304 (d_d , $L_{ок}$) болатының гетерогендік көрсеткіштері

зерттелетін модельдік айналмалы суларда оның питтингке тұрақтылығына қалай әсер етеді деген сұрақ туындайды.

(1) теңдеуді талдау нәтижелері бойынша болаттың аустенит (d_0) түйіршігінің орташа диаметрінің 49-дан 86 мкм-ге дейін артуы модельдік айналым суларында оның ПШТ 1,83 °C-ке өсуіне ықпал етеді. Осылайша, AISI304 болат аустенит түйіршігінің орташа мөлшері 4-тен 8-ге дейінгі аралықтағы модельдік айналымдағы судың рН сияқты, оның зерттелетін хлоры бар орталардағы питтингке тұрақтылығына айтарлықтай әсер етпейді.

(1) талдау нәтижелеріне сәйкес ПШТ рН 4...8 және 350...600 мг/л концентрациясы бар модельдік айналымдағы суларда AISI304 болаттағы Cr, Ni құрамының артуы және Mn төмендеуі кезінде өседі. Бұл жұмыстар [33, 34] және алдыңғы зерттеулер [4, 15, 18-24] мәліметтерімен сәйкес келеді. Алайда, $P_{SHT}=a+b(Cr, Mn)$ тура пропорционалды регрессиялық тәуелділіктер тек кейбір модельдік айналым суларында алынғанын атап өткен жөн. Атап айтқанда, бұл рН 4...6 модельдік айналым сулары және Cr және рН5 үшін 550 мг/л хлоридтердің концентрациясы және Mn үшін 500 мг/л хлоридтердің концентрациясы, сонымен қатар, жеке шешімдер үшін осы модельді айналымдағы суда ПШТ AISI304 болаты Mn құрамының ұлғаюымен өсетіні анықталды.

рН 4...8 модельдік айналмалы сулардағы AISI304 болат ПШТ-ға Mn құрамының әсерін талдау және 350...600 мг/л хлоридтердің концентрациясы оның құрамы 1,23-ден 1,81 массалық %-ға дейін ұлғайған кезде, бұл өлшем 2,12-ге артатынын көрсетті. Практикалық тұрғыдан бұл болат ПШТ-нің өзгеруі елеулі емес және эксперименттің $\pm 0,5^\circ\text{C}$ қатесіне жақын. Сондықтан зерттеудің алдыңғы [4] және (1) нәтижесі арасында сәйкессіздіктер жоқ екенін атап өтуге болады. Алайда, AISI304 болаттың питтингке тұрақтылығына Mn жағымсыз әсер ету үрдісін ескере отырып, жабдық өндірушілеріне құрамында 1,5 массалық % Mn бар балқыманы таңдауын ұсыну қажет.

AISI304 болаттағы Cr құрамы 17-ден 19,5 мас. % дейін өзгереді, сондықтан (1) сәйкес оның ПШТ осы интервалда Cr құрамын ұлғайта отырып, 5,75 °C өсуі мүмкін. Сондықтан, тәжірибелік тұрғыдан айналымдағы суды қолданумен жұмыс істейтін жылу алмасу жабдықтарын өндірушілерге оны дайындауға арналған стандартқа сәйкес орташа мәннен

жоғары Cr бар AISI304 болатының балқымасын таңдауы ұсынылады.

AISI304 болатында құрамы 8,0-ден 10,5 мас. % дейін Ni құрайды, сондықтан оның құрамының осы шектерде артуы оның ПШТ 0,15-ке өсуіне ықпал етеді. Бұл ПШТ мәні оны өлшеу қателігінен аз болды ($\pm 0,5^\circ\text{C}$). Сондықтан, Ni AISI304 болатының питтингке тұрақтылығына әсер етпейді деп санауға болады.

Бақылауларды іріктеу негізінде сондай-ақ, екінші реттік моделі жасалды:

$$KТП = w_0 + 22,289pH - 0,0681Cl^- - 0,234d_3 - (2) \\ - 1,8306pH^2 + 1,5743Cl^{-2} + 0,0018d_3^2 + \\ + 0,00095977L_{ок}^2 + 0,01027Cr^2 + 0,08997Ni^2.$$

Екінші ретті (2) сызықтық регрессиялық үлгіге сәйкес зерттелетін айналым суларындағы AISI304 болат ПШТ хлоридтердің концентрациясы 600-ден 350 мг/л-ге дейін төмендеген кезде рН ортасы 4-тен 8-ге дейін және 13,28 °C ұлғайғаны анықталды. Осылайша бірінші реттегі сызықтық регрессиялық үлгіге сәйкес (1) іс жүзінде ұқсас нәтижелер алынды, өйткені олардағы хлоридтердің концентрациясы 600-ден 350 мг/л дейін төмендеген кезде модельдік айналымдағы сулардың рН 4-тен 8-ге дейін және 13,35 °C-ге ұлғайған кезде AISI304 болатының ПШТ 1,31 °C-ге өсуі анықталды. Осы себептен, AISI304 болатының питтингке тұрақтылығы айналым суларындағы хлоридтердің концентрациясына ғана байланысты екенін атап өтуге болады.

Бұдан басқа, (1) және (2) талдаулар AISI304 болатының құрылымдық гетерогендігі көрсеткіштері үлгіге тәуелді, зерттелетін модельдік айналымдағы суларда оның ПШТ – ға (питтингке тұрақтылығына) тең дәрежеде әсер ететінін көрсетті, себебі (1) ПШТ болатының моделіне сәйкес 1,63 °C-ге, ал (2) моделіне сәйкес аустенит түйіршіктің орташа диаметрінің 49-дан 86 мкм-ге дейін ұлғайғанда 0,5 °C-ге өседі. Сонымен қатар, (1) үлгіге сәйкес болат ПШТ және тиісінше оның питтингке тұрақтылығы 5,2 °C-ге, ал (2) үлгіге сәйкес титан оксидтері арасындағы орташа қашықтықты 151-ден 172 мкм-ге дейін ұлғайтқан кезде 6,5 °C-ге өседі. Осылайша, оксидтер арасындағы орташа қашықтықты 151-ден 172 мкм-ге дейін арттырғанда болат ПШТ орта есеппен 5,85 °C-ке өседі.

AISI304 болатының химиялық құрамының әсерін талдай отырып, (1) және (2) модельдерді пайдалана отырып, модельді айналмалы сулардағы оның питтингке төзімділігі (1) модельге сәйкес болатын питтингке тұрақтылығына оның құрамындағы Mn, Cr, Ni, ал (2) – Cr және Ni әсер ететінін атап өтуге болады. Бұл ретте болаттағы Mn құрамы 1,4-ден 2,0 мас. % дейін оның питтингке төзімділігіне айтарлықтай әсер етпейді, өйткені оның ПШТ Mn құрамы 1,4-тен 1,5 мас. % дейін өзгерген кезде тек 2,2 °C төмендейді. Сондықтан іс жүзінде бұл болаттың питтингке төзімділігіне Mn әсерін ескермеуге болады. Болат құрамында Ni артуы осы орталарда оның ПШТ өсуіне ықпал ететінін атап өткен жөн. Алайда, (1) сәйкес бұл әсер өте төмен, себебі Ni құрамы 8-ден 10,5 мас. % дейін арттырғанда ПШТ 0,15 °C-ке өседі. (2) моделге сәйкес Ni әсері біршама ықпалды және жоғарыда көрсетілген аймақта болаттағы Ni құрамының өсуі кезінде 4,15 °C құрайды. Сонымен қатар, ПШТ болатының орташа арифметикалық өсуі стандарт шегінде Ni құрамының ұлғаюында 2,15 °C құрайтынын және оның өнеркәсіптік балқымадағы құрамының орташа мәнге жақын екенін ескере отырып, оның питтингке тұрақтылығына Ni әсерін елеулі емес деп есептеуге болады. Алдыңғы зерттеулерде AISI304, AISI321 болаттарының және 06ХН28МДТ қорытпасының питтингке төзімділігіне Ni оң әсері анықталғанын атап өткен жөн, бірақ осы материалдардың питтингке төзімділігін зерттеу нәтижелерін алдыңғы математикалық өңдеу [4, 15-25] Ni және оның ішінде Mn, Cr сонымен қатар болат пен қорытпадағы басқа да химиялық элементтерді қаншалықты маңызды деп бағалауға мүмкіндік бермегенін атап өткен жөн.

(1) сәйкес AISI304 болаттың ПШТ-сы 5,74 °C-ке өседі, ал (2) сәйкес онда Cr құрамы 17,0-ден 19,5 мас. % дейін ұлғайған кезде 0,94 °C-ке азаяды. AISI304 болатының ПШТ-сың анықтаудың дәлдігі тұрғысынан айналымдағы су мен тікелей болаттың параметрлеріне байланысты екінші ретті жеке бірінші ретті регрессиялық моделі де үлкен қызығушылық тудырады (3):

$$KTP(y) = w_0 + \sum_{j=1}^N w_j x_j + \sum_{j=1}^N \sum_{p=j+1}^N \left(w_{N+j} \frac{x_j}{x_p} \right) + \quad (3)$$

$$+ \sum_{j=1}^N w_{(N(0,5N-1)+j)} x_j^2,$$

жақшада 1 кестеде келтірілген полином бар.

Бұл (3) модель (2) және (1) қарағанда айтарлықтай жақсы, өйткені AISI304 болаттың питтингке төзімділігін бірнеше дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Модельдің үлкен дәлдігін қамтамасыз ету үшін (4) модельде алынған жасанды нейрондық желілердің аппараты пайдаланылды:

1 кесте - Жеке бірінші реттілігі бар екінші ретті сызықтық регрессиялық модельдің салмағы

шартты белгісі	қатынасы	сандық мәні
w_{16}	$x_1 : x_2$	0,00066849
w_{17}	$x_1 : x_3$	-0,011663
w_{19}	$x_1 : x_5$	0,01813
w_{22}	$x_1 : x_8$	4,2318
w_{24}	$x_1 : x_{10}$	-0,16388
w_{25}	$x_1 : x_{11}$	1,9056
w_{30}	$x_2 : x_3$	-0,00022833
w_{32}	$x_2 : x_5$	-0,00033949
w_{35}	$x_2 : x_8$	0,022315
w_{37}	$x_2 : x_{10}$	-0,0012484
w_{38}	$x_2 : x_{11}$	-0,001783
w_{44}	$x_3 : x_5$	-0,022957
w_{70}	$x_5 : x_{10}$	-0,055707
w_{71}	$x_5 : x_{11}$	0,051534
w_{121}	x_{12}	-1,8314
w_{122}	x_{22}	$1,4934 \times 10^{-5}$
w_{123}	x_{32}	0,026562
w_{125}	x_{52}	0,0093197

$$y = \Psi^{(2,1)} \left(w_0^{(2,1)} + \sum_{i=1}^{24} w_i^{(2,1)} \Psi^{(1,i)} \left(w_0^{(1,i)} + \sum_{j=1}^N w_j^{(1,i)} x_j^s \right) \right), \quad (4)$$

мұнда: $\Psi^{(\eta,i)}$ – η -ші нейронды желісі қабатының

i -ші белсендіру нейроны: $\Psi^{(2,1)}(a) = a$,

$$\Psi^{(1,i)}(a) = \frac{2}{1 + e^{-2a}} - 1.$$

Екі қабатты нейромодельдің салмақ коэффициенттерінің матрицасы 2 кестеде берілген.

Айта кететіні, (4) модель x_1 (pH), x_2 (Cr), x_3 (d₀) және x_5 (L_{ок}) белгілерінің AISI304 (ПШТ, y) болатының питтингке төзімділік критерийіне әсер ету дәрежесін талдау үшін жарамдылығы

2 кесте – Екі қабатты нейрондық желінің салмақ коэффициенттерінің матрицасы

$w_j^{(1,i)}$	j					j	$w_j^{(2,l)}$
i	0	1	2	3	4	0	-1.4701]
1	5.1883	-2.3442	6.0911	-2.8472	-2.8201	1	0.2796
2	4.9426	-3.6743	1.4896	4.0575	0.5259	2	-0.2770
3	-1.9978	1.2779	0.4668	1.1561	0.0419	3	0.8500
4	6.4622	-1.7005	-2.6446	-2.9706	-1.8061	4	0.4317
5	-2.0913	0.7425	-2.8097	0.9035	-3.1919	5	-0.5914
6	3.0633	-2.4742	4.3250	2.3750	-0.2338	6	-0.3841
7	-5.5235	3.6310	4.4237	-5.5813	-0.8157	7	-0.2869
8	-3.2443	2.6379	0.0662	-0.0172	-0.1659	8	-2.3041
9	-1.6118	-0.1469	-0.9910	-5.1603	1.5106	9	-2.0524
10	-0.3344	-0.4297	-1.4913	3.4566	0.8671	10	0.7092
11	-0.3901	4.1230	-1.7473	-1.1606	-4.2783	11	-0.2272
12	-0.8580	1.5069	-0.8273	2.6614	-2.0490	12	0.5984
13	0.8204	-1.0456	1.3423	3.0261	1.6625	13	-0.4705
14	1.1508	-0.1108	-0.1409	1.4309	-3.9010	14	1.5266
15	2.7021	4.3384	-3.2522	-4.3223	-0.6514	15	0.4301
16	0.1168	2.8876	-1.7098	1.7940	-4.5369	16	-0.3098
17	-0.1496	0.4400	-1.4937	2.9931	-2.3009	17	-0.5596
18	-1.4876	0.2188	-0.7752	-4.7101	2.1187	18	2.1687
19	4.7116	5.4322	4.6818	2.5467	5.2645	19	-0.2316
20	3.1822	0.6937	1.5710	-0.5993	-3.4633	20	-0.6100
21	-6.6068	-5.5799	-5.5747	-0.0027	-1.1067	21	0.4103
22	3.9606	4.0561	3.8443	0.6597	1.7855	22	0.4427
23	5.2412	1.4244	-2.2788	1.8085	-3.0245	23	-0.7845
24	-7.2445	-6.6678	4.0052	-2.0509	-0.1400	24	-0.3090

өте аз екен, бірақ бұл модель осы белгілерге байланысты осы критерийді есептеудің жоғары дәлдікті нәтижелерін береді. (1) - (4) жасалған модельдерді талдау нәтижелерін жинақтай отырып, AISI 304 болатының ПШТ (питтингке төзімділігі) титан оксидтерінің (x_5) мөлшерін және айналым суындағы хлоридтердің (x_2) мөлшерін азайту кезінде айтарлықтай өседі. Бұдан басқа, белгі (x_3) – аустенит түйіршігінің орташа диаметрі ұлғайған кезде болаттың питтингке төзімділігінің y (ПШТ-шегі) өсуіне ықпал етеді. Бұл ретте (x_3) белгіні болатты термоөңдеумен реттеуге болады, сондықтан жылу алмасу аппаратурасын өндірушілерге аустенит түйіршігінің орташа диаметрі (x_3) 86 мкм артық болған AISI304 болатты ұсыну немесе болатты термоөңдеудің осындай мәніне әкелуі қажет. Сонымен қатар жылу алмастырғыштарды өндірушілерге 172 мкм астам титан оксидтерінің арасында орташа арақашықтығы бар болатты балқытуды ұсыну керек, ал оларды пайдаланатын ұйымдарға 350 мг/л кем хлоридтердің концентрациясы бар айналым түбін пайдалану керек. Сонымен бірге,

алдыңғы зерттеулердің нәтижелері [1, 4, 15, 35] және жұмыста алынған нәтижелердің деректерін талдай отырып, пайдаланушы ұйымдар 6,5-тен 7,5-ке дейінгі аралықтағы айналым суының рН ұстап тұруы қажет деген пікір айтылуда.

Қорытынды Жұмыста тәжірибелік зерттеулер мәліметтері бойынша AISI304 болатының питтингке тұрақтылығы, оның параметрлеріне мен айналымдағы сулардың тәуелділігіне байланысты модельдерін құрудың өзекті мәселелері қарастырылды.

AISI304 болаттың және айналымдағы судың параметрлерінің болаттың питтингке тұрақтылығына байланысты зерттемелердің нәтижелерін талдау кезінде регрессиялық модельдер салынды: бірінші реттік сызықтық модель, екінші реттік модель, жекеше бірінші реттікпен бірге екінші ретті модель және белгілердің қысқартылған саны бар сызықтық модель. Бұл модельдерді талдау кезінде модельдік айналым суларындағы болаттың питтингке тұрақтылығына едәуір әсер ететінін көрсетілді, сонымен қатар хлоридтердің құрамы және болаттағы оксидтердің арасындағы орташа

қашықтықтың әсері бар екені де. Болаттың питтингке төзімділігі өлшемдеріне x_3 – аустенит түйіршіктерінің орташа диаметрі және x_{10} – Cr құрамы айтарлықтай аз әсер етеді.

Көбінесе айналымдағы суда Cl⁻ (x_2) хлоридтерінің құрамы 600-ден 350 мг/л-ге дейін төмендеген кезде болаттың ПШТ (y) 13,36 °C - ге және $L_{ок}$ (x_5) оксидтерінің арасындағы орташа қашықтық 151-ден 172 мкм-ге дейін өскен кезде 5,31 °C-ге өседі. Бұл нәтижелер AISI304 болатының питтингке тұрақтылығына аустениттік матрицасы бар титан оксидтерінің шекарасындағы хлорид-иондардың адсорбциясының қарқындылығы және аралас кристалдық торлардың атомдары арасындағы аса жоғары когеренттік емес нәтижесінде осы қосулардың маңындағы питтингтердің бетіне Fe атомдарының қатты фазалық диффузиясының мүмкіндігі әсер ететінін растайды, бұл метастабильдік питтингтердің тұрақты өтуіне ықпал етеді. Айналымдағы суды қолдану арқылы жұмыс істейтін жылу алмасу аппаратурасын өндірушілерге титан оксидтері (x_5) арасындағы орташа қашықтығы 172 мкм-ден асатын, аустенит түйіршіктерін орташа диаметрі (x_3) 86 мкм-ден асатын AISI304 болаттың балқымасы ұсынылады. Бұл жабдықты пайдаланатын ұйымдарға 6,5-тен 7,5-ке дейінгі рН (x_1) және хлоридтердің концентрациясы (x_2) 350 мг/л-ден аз айналым суларын қолдану ұсынылады. Оның үстіне, рН (x_1) және айналым суындағы хлоридтердің құрамына (x_2) тәуелді болаттың питтингке төзімділігін болжау үшін титан оксидтерінің (x_5) арасындағы орташа қашықтықты және аустенит түйіршігінің орташа диаметрін (x_3) құру үшін белгілер санын қысқартумен сызықтық регрессиялық полиномиалды модельді пайдалану ұсынылады.

Осы зерттеу нәтижелері алдыңғы зерттеулердің кемшіліктерін жоюға мүмкіндік береді, өйткені олар зерттелетін белгілердің маңыздылығын және олардың айналым суларында дайындалған жылу алмастырғыштарды пайдалану кезінде AISI304 болатының питтингке тұрақтылық әсерін көрсетеді.

Одан кейінгі зерттеулердің болашағы ол басқа болаттар мен қорытпалардың сипаттамалары үшін тәуелділік моделін құру және талдау, әртүрлі әдістер мен көрсеткіштер негізінде болат және айналымдағы су параметрлерінің (маңыздылығын) бағалау, белгілердің маңыздылығын бағалау жиынтығы бойынша жоғары ақпаратты белгілердің ең аз

жиынтығын анықтау, қолайлы дәлдікке ие болаттың параметрлерінен ПШТ орау моделін құру үшін жеткілікті, көлемі бойынша ең аз ішкі жинағын анықтау, басқа болаттар мен қорытпалардың сипаттамалары үшін тәуелділік, қолайлы дәлдікке ие оның параметрлерінен ПШТ орау үлгісін құру үшін жеткілікті кластер-ұқсас бақымалар топтарын анықтау және оларды кейінгі толқынды талдау үшін бақымаларды іріктеуге талдау жүргізу, кластер-регрессиялық аппроксимация, анық логика, регрессия ағаштары және гибриді "оңай" есептеулер негізінде ПШТ тәуелділігінің моделін құру болып табылады.

Әль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің Эксперименталдік және теориялық физика ғылыми зерттеу институтының АР05130069 "Электр қондырғыларының қосалқы жабдықтарын функционалдық гальваникалық қаптауға арналған нанотехнологиялық синтез тәсілін жасау" проектісі қолдауымен орындалды.

ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Нарівський О.Е. Корозійно-електрохімічна поведінка конструкційних матеріалів для пластинчастих теплообмінників у модельних оборотних водах: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.14 / Нарівський Олексій Едуардович. – Львів, 2009. – 209 б.
- 2 Nariv'skyi O.E. Micromechanism of corrosion fracture of the plates of heat exchangers // Materials Science. – 2007. – V. 43, Issue 1. – P. 124-132. <https://doi.org/10.1007/s11003-007-0014-3>
- 3 Nariv'skyi O.E. Corrosion fracture of platelike heat exchangers // Materials Science. – 2005. – V. 41, Issue 1. – P. 122-128. <https://doi.org/10.1007/s11003-005-0140-8>
- 4 Нарівський О. Е. Закономірності і механізми локальної корозії корозійнотривких сталей і сплаву аустенітного класу для ємнісної та теплообмінної апаратури // НАН України, Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка. - Львів, 2015. – 42 б.
- 5 Pistorius P.C., Burstein G.T. Growth of corrosion pits on stainless steel in chloride solution containing dilute sulphate // Corrosion Science. – 1992. – V. 33, Issue 12. – P. 1885-1897. [https://doi.org/10.1016/00938X\(92\)90191-5](https://doi.org/10.1016/00938X(92)90191-5)
- 6 Pistorius P. C. Burstein G.T. Aspects of the effects of electrolyte composition on the occurrence of metastable pitting on stainless steel // Corrosion Science. – 1992. – V. 36, Issue 3. – P. 525-538. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0010-938X(94)90041-8)
- 7 Moretti G. Quartarone G.A., Tassan, Zingales A. Pitting corrosion behaviour of superferritic stainless steel in waters containing chloride // Materials and Corrosion.

– 1993. – V. 44, Issue 1. – P. 24-30.
<https://doi.org/10.1002/maco.19930440107>

8 Dutta R.S., De P.K., Gadiyar H.S The sensitization and stress corrosion cracking of nitrogen-containing stainless steels // Corrosion Science. – 1993. – V 34, Issue 1. – P. 51-60. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(93\)90258-1](https://doi.org/10.1016/0010-938X(93)90258-1)

9 Osozawa K. Okato N. Passivity and its Breakdown on Iron and Iron Based Alloys // U.S.A.-Japan Seminar, Honolulu. – Houston: NACE, – 1976. – P. 135. <https://doi.org/10.1023/A:1004597518809>

10 Jargelius-Petersson R.F.A Electrochemical investigation of the influence of nitrogen alloying on pitting corrosion of austenitic stainless steels // Corrosion Science. – 1999. – V. 41, Issue 8. – P. 1639-1664. <https://doi.org/10.5006/1.3293567>

11 Schmuki P. Hildebrand H., Friendrich A., Virtanen S The composition of the boundary region of MnS inclusions in stainless steel and its relevance in triggering pitting corrosion // Corrosion Science. – 2005. – № 47. – P. 1239-1250. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.corsci.2004.05.023>

12 Web E. G. Alkire R.C. Pit initiation at single sulfide inclusions in stainless steel. II. Detection of local pH, sulfide and thiosulfide // Journal of Electrochemical Society. – 2002. – № 149. – P. 280-285. <http://doi=10.1.1.845.4923&rep=rep1&type=pdf>

13 Williams D.E, Zhu Y.Y. Explanation for initiation of pitting corrosion of stainless steel at sulfide inclusions // Journal of Electrochemical Society. – 2000. – № 147. – P. 1763-1766. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fma10091076>

14 Pardo A. Merino M. C., Coy A.E., Viejo F., Arrabal R., Matydinal E Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steel-combining effects of Mn and Mo additions // Corrosion Science. – 2008. – № 50. – P. 1796-1806. <http://dx.doi.org/10.1590/S037044672013000200006>

15 Narivskyi A.E. Determination of pitting resistance steel AISI304 became in chloride-containing environment which are in work of type heat exchangers // Physicochemical mechanics of materials. Special issue. – 2006. – P. 136-140. <https://doi:10.3390/ma10091076>

16 Narivskyi O.E. Influence of the heterogeneity AISI321 on its pitting in chloride-containing media // Materials Science. – 2007. – V. 43, Issue 2. – P. 256-264. <https://doi.org/10.1179/1743278214Y.0000000221>

17 Нарівський О.Е., Бєліков С. Б. Оцінка стійкості сплаву 06ХН28МДТ до пітингової та щільної корозії в хлоридовмісних середовищах // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 2. – С. 45-53. <http://rmebrk.kz/journals/5131/11158.pdf>

18 Narivskyi O.E. Criteria of estimation of pitting resistance of non-rusting steels AISI304, 08X18H10 which use for the production of type heat exchangers // Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спеціальний випуск. – 2007. – № 6. – P. 172-177.

19 Narivskyi O.E. Pitting resistance of 06KHN28MDT alloy in chloridecontaining media. // Materials Science. – 2008. – V. 44, Issue 4. – P. 573–580.

20 Бєліков С.Б., Нарівський О. Е. Кінетика корозійних процесів сталей AISI 321 та 12Х18Н10Т у нейтральних хлоридовмісних розчинах та швидкість їх корозії // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2011. – № 1. – С. 36-44.

21 Нарівський О.Е. Вплив хімічних елементів і структурної гетерогенності сталі AISI 321 на корозійне розчинення Cr, Ni та Fe у хлоридовмісних розчинах // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.2. – С. 164-172.

22 Нарівський О.Е. Кінетика корозійних процесів та швидкість пітингування сплаву 06ХН28МДТ у слабких хлоридовмісних середовищах // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 31. – С. 214-220. http://www.ipm.lviv.ua/aref_Narivskiy.pdf

23 Нарівський О.Е. Закономірності корозійного розчинення та швидкість пітингування сплаву 06ХН28МДТ у нейтральних хлоридовмісних розчинах // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 32. – С. 255-261. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2011_32_46

24 Наривский А.Э., Солидор Н.А. Коррозионные процессы и скорость роста питтингов сталей AISI 304 и 08X18H10Т в модельных оборотных водах // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 2. – С. 87–97. <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/1>

25 Наривский А.Э., Бєліков С.Б. Характерные особенности селективного растворения питтингов на поверхности стали AISI 321 в модельных оборотных водах // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2015. – № 1. – С. 24-31.

26 Фрейман Л.И., Баєман А.Р., Пікус. Е.А., Гуджабидзе Л.Е. Определение критического размера питтинга на нержавеющей стали // Защита металлов. – 1988. – Т. 24, № 4. – С. 614–617. <http://rmebrk.kz/journals/5131/11158.pdf>

27 Freedman D. A. Statistical Models: Theory and Practice // Cambridge University Press, 2005. – 458 p.

28 Haykin S.O. Neural Networks and Learning Machines // London: Pearson, 2008. – 936 p.

29 Nocedal J. Numerical Optimization / J. Nocedal, Wright S. – New York: Springer-Verlag, 2006. – 664 p.

30 Наривский А.Э. Влияние структуры сплава 06ХН28МДТ на его коррозионное поведение в окислительных средах // Коррозия: материалы, защита. – 2011. – №2. – С. 33–40.

31 Наривский А.Э. Стойкость сплава 06ХН28МДТ к межкристаллитной коррозии в зависимости от его химического состава // Коррозия: материалы, защита. – 2010. – № 11. – С. 15–20.

32 Нарівський О.Е. Особливості селективного розчинення металів у пітингах на поверхні сталі AISI304 // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2016. – № 11 Спеціальний випуск "Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів". – С. 50–55.

33 Gutierrez de Sainz-Solabarria S. San Juan Nutez J.M. Estudio de la susceptibilidad de un acero inoxidable austenitico estabilizado con niobio al danado

por tensocorrosion en medio H₂S (SSC) y corrosion intergranular (IGG) en otros medios agresivos // Deformación metálica. – 1996. – 226. – P. 77–83.

34 Olefjord I. Wegrelius L. The influence of nitrogen on the passivation of stainless steels // Corrosion Science. – 1996. – V. 38, Issue 7. – P. 1203-1220.

35 Kenzhaliyev, B.K., Gladyshev, S.V., Abdulvaliyev, R.A., Omarova, S.A., Beisembekova, K.O., Manapova, A.I., Imangalieva, L.M. Activation of ash slag waste before chemical enrichment. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2017. 2(422), c. 143-148

REFERENCES

1 Narivskyi O.E. *Korozivno-elektrokhimichna povedinka konstruktsiynykh materialiv dlya plastynchastykh teploobminnykh u model'nykh oborotnykh vodakh: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.17.14* (Corrosion-electrochemical behavior of structural materials for plate heat exchangers in modeling reversible waters: diss. ... Candidate tech Sciences: 05.17.14) Narovsky Oleksiy Eduardovich. Lviv, 2009. 209. (in Russ).

2 Narivskyi O.E. Micromechanism of corrosion fracture of the plates of heat exchangers. Materials Science. 2007. 43, 1. 124-132. <https://doi.org/10.1007/s11003-007-0014-3> (in Eng).

3 Narivskyi O.E. Corrosion fracture of platelike heat exchangers. Materials Science. 2005. 41, 1. 122-128. <https://doi.org/10.1007/s11003-005-0140-8> (in Eng).

4 Narivsky O.E. *Zakonomirnosti i mekhanizmy lokal'noyi korozivnoyi korozivnotryvlyvnykh staley i splavu austenitnoho klasu dlya yemnisnoyi ta teploobminnoyi aparatury* (Laws and mechanisms of local corrosion of corrosion-resistant steels and an alloy of the austenitic class for capacitive and heat-exchange equipment) NAS of Ukraine, Phys. -Mech. in-t them GV Karpenko. Lviv, 2015. 42. (in Ukr).

5 Pistorius P.C., Burstein G.T. Growth of corrosion pits on stainless steel in chloride solution containing dilute sulphate. Corrosion Science. 1992. 33, 12. 1885-1897. [https://doi.org/10.1016/00938X\(92\)90191-5](https://doi.org/10.1016/00938X(92)90191-5) (in Eng).

6 Pistorius P. C. Burstein G.T. Aspects of the effects of electrolyte composition on the occurrence of metastable pitting on stainless steel. Corrosion Science. 1992. 36, 3. 525-538. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0010-938X(94)90041-8) (in Eng).

7 Moretti G. Quartarone G.A., Tassan, Zingales A. Pitting corrosion behaviour of superferritic stainless steel in waters containing chloride. Materials and Corrosion. 1993. 44, 1. 24-30. <https://doi.org/10.1002/maco.19930440107> (in Eng).

8 Dutta R.S., De P.K., Gadiyar H.S. The sensitization and stress corrosion cracking of nitrogen-containing stainless steels. Corrosion Science. 1993. 34, 1. 51-60. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(93\)90258-I](https://doi.org/10.1016/0010-938X(93)90258-I) (in Eng).

9 Osozawa K. Okato N. Passivity and its Breakdown on Iron and Iron Based Alloys. U.S.A. Japan Seminar, Honolulu. – Houston: NACE, 1976. 135. <https://doi.org/10.1023/A:1004597518809> (in Eng).

10 Jargelius-Pettersson R.F.A. Electrochemical investigation of the influence of nitrogen alloying on pitting corrosion of austenitic stainless steels. Corrosion Science. 1999. 41, 8. 1639-1664. <https://doi.org/10.5006/1.3293567> (in Eng).

11 Schmuki P. Hildebrand H., Friendrich A., Virtanen S. The composition of the boundary region of MnS inclusions in stainless steel and its relevance in triggering pitting corrosion. Corrosion Science. 2005. 47. 1239-1250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2004.05.023> (in Eng).

12 Web E.G. Alkire R.C. Pit initiation at single sulfide inclusions in stainless steel. II. Detection of local pH, sulfide and thiosulfide. Journal of Electrochemical Society. 2002. 149. 280-285. <http://doi=10.1.1.845.4923&rep=rep1&type=pdf> (in Eng).

13 Williams D.E, Zhu Y.Y. Explanation for initiation of pitting corrosion of stainless steel at sulfide inclusions. Journal of Electrochemical Society. 2000. 147. 1763-1766. <https://dx.doi.org/10.3390/2Fma10091076> (in Eng).

14 Pardo A. Merino M. C., Coy A.E., Viejo F., Arrabal R., Matydinal E. Pitting corrosion behaviour of austenitic stainless steel-combining effects of Mn and Mo additions. Corrosion Science. 2008. 50. 1796-1806. <http://dx.doi.org/10.1590/S037044672013000200006> (in Eng).

15 Narivskyi A.E. Determination of pitting resistance steel AISI304 became in chloride-containing environment which are in work of type heat exchangers. Physicochemical mechanics of materials. Special issue. 2006. 136-140. <https://doi:10.3390/ma10091076> (in Eng).

16 Narivskyi O.E. Influence of the heterogeneity AISI321 on its pitting in chloride-containing media. Materials Science. 2007. 43, 2. 256-264. <https://doi.org/10.1179/1743278214Y.0000000221> (in Eng).

17 Narivsky O.E., Belikov S.B. *Otsinka stiykosti splavu 06KHN28MDT do pitynhovoyi ta shchilyynoyi korozivnoyi v khlorydovmisnykh seredovishchakh* (Assessment of the stability of the alloy 06XH28MDT to pitting and slit corrosion in chloride-containing environments). *Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni* = New materials and technologies in metallurgy and machine-building. 2007. 2. 45-53. <http://rmebrk.kz/journals/5131/11158.pdf> (in Ukr).

18 Narivskyi O.E. Criteria of estimation of pitting resistance of non-rusting steels AISI304, 08X18H10 which use for the production of type heat exchangers. Physical and chemical mechanics of materials. Special issue. 2007. 6. 172-177. (in Eng).

19 Narivskyi O.E. Pitting resistance of 06KHN28MDT alloy in chloride-containing media. Materials Science. 2008. 44, 4. 573–580. (in Eng).

20 Byelikov S.B., Narivsky O.E. *Kinetyka korozivnykh protsesiv staley AISI 321 ta 12KH18N10T u neytral'nykh khlorydovmisnykh rozchynakh ta shvydkist' yikh korozivnoyi* (Kinetics of corrosion processes of steels AISI 321 and 12X18H10T in neutral chloride-containing

solutions and their corrosion rate) New materials and technologies in metallurgy and machine-building. **2011**. 1. 36-44. (in Russ).

21 Narivs'kyy O.E. *Vplyv khimichnykh elementiv i strukturnoyi heterohennosti stali AISI 321 na korozivne rozchynnennya Cr, Ni ta Fe u khlorydovmisnykh rozchynakh* (Influence of chemical elements and structural heterogeneity of steel AISI 321 on corrosion dissolution of Cr, Ni and Fe in chloride-containing solutions) Scientific herald of NLTU of Ukraine. **2014**. 24.2. 164-172. (in Ukr).

22 Narivs'kyy O.E. *Kinetyka korozivnykh protsesiv ta shvydkist' pitinhuvannya splavu 06KHN28MDT u slabokyslykh khlorydovmisnykh seredovishchakh* (Kinetics of corrosion processes and the rate of pitting of an alloy 06XH28MDT in weakly acid chloride-containing environments). Scientific notes. **2011**. 31. 214-220 . http://www.ipm.lviv.ua/aref_Narivskiy.pdf (in Ukr).

23 Narivs'kyy O.E. *Zakonomirnosti korozivnoho rozchynnennya ta shvydkist' pitinhuvannya splavu 06KHN28MDT u neytral'nykh khlorydovmisnykh rozchynakh* (Patterns of corrosion dissolution and speed of pitting of an alloy 06XH28MDT in neutral chloride-containing solutions). Scientific notes. **2011**. 32. 255-261. . http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2011_32_46 (in Ukr).

24 Naryvskyy A.É., Solydor N.A. *Korrozionnye protsessy y skorost' rosta pytytnhov staley AISI 304 y 08KH18N10T v model'nykh oborotnykh vodakh* (Corrosion processes and the rate of growth of pitting in AISI 304 and 08X18N10T steels in model recycled waters). Bulletin of the Priazovsky State Technical University. Series: Technical Sciences. **2011**. 2. 87-97.. <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/1> (in Russ).

25 Naryvskyy A.É., Belykov S.B. *Kharakternye osobennosti selektyvnoho rastvorennya pytytnhov na poverkhnosti staly AISI 321 v model'nykh oborotnykh vodakh* (Characteristic features of selective dissolution of pitting on the surface of steel AISI 321 in model recycled waters). New materials and technologies in metallurgy and machine building. **2015**. 1. 24-31. (in Russ).

26 Freyman L.I., Bayeman A.R., Pikus. Ye.A., Gudzhabidze L.Ye. *Opreddeniyе kriticheskogo razmera pittinga na nerzhavayushchey stali* (Determination of the critical size of pitting on stainless steel) Protection of

metals. **1988**. 24, 4. 614–617.. <http://rmebrk.kz/journals/5131/11158.pdf> (in Russ).

27 Freedman D. A. *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press, **2005**. 458. (in Eng).

28 Haykin S.O. *Neural Networks and Learning Machines*. London: Pearson, **2008**. 936. (in Eng).

29 Nocedal J. *Numerical Optimization* / J. Nocedal, Wright S. – New York: Springer-Verlag, **2006**. 664. (in Eng).

30 Narivskiy A.E. *Vliyaniye struktury splava 06KHN28MDT na yego korrozionnoye povedeniye v oksiditel'nykh sredakh*. (The influence of the structure of the alloy 06HN28MDT on its corrosion behavior in oxidizing media) Corrosion: materials, protection. 2011. 2. 33–40. (in Russ).

31 Narivskiy A.E. *Stoykost' splava 06KHN28MDT k mezhkristallitnoy korrozii v zavisimosti ot yego khimicheskogo sostava* (Resistance alloy 06HN28MDT to intergranular corrosion, depending on its chemical composition) Corrosion: materials, protection. **2010**. 11. 15–20. (in Russ).

32 Narivs'kyy O.E. *Osoblyvosti selektyvnoho rozchynnennya metaliv u pitynhakh na poverkhnii stali AISI304* (Features of selective dissolution of metals in piping on the surface of steel AISI304) Physical-chemical mechanics of materials. **2016**. 11 Special issue "Problems of corrosion and corrosion protection of structural materials". 50-55. (in Ukr).

33 Gutierrez de Sainz-Solabarria S. San Juan Nutez J.M. Estudio de la susceptibilidad de un acero inoxidable austenitico estabilizado con niobio al danado por tenso-corrosion en medio H₂S (SSC) y corrosion intergranular (IGG) en otros medios agresivos. Deformación metálica. **1996**. 226. 77–83. (in Eng).

34 Olefjord I. Wegrelius L. The influence of nitrogen on the passivation of stainless steels. Corrosion Science. **1996**. 38, 7. 1203-1220. (in Eng).

35 Kenzhaliyev, B.K., Gladyshev, S.V., Abdulvaliyev, R.A., Omarova, S.A., Beisembekova, K.O., Manapova, A.I., Imangalieva, L.M. Activation of ash slag waste before chemical enrichment. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. 2017. 2(422), c. 143-148 (in Eng.).

Information about authors:

Narivs'kyy Oleksii Eduardovich - Dr. Sc., Professor, Technical Director, "Ukrspetsmash" LLC, Gagarina str., 7, Berdyansk, 71111, Ukraine. amz309@yandex.ru. mob. tel.: +380676192599

Subbotin Sergey Aleksandrovich - Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Software Tools, Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovsky str., 64, Zaporizhzhia, 69063, Ukraine subbotin@zntu.edu.ua mob. tel.: +380673941180

Belikov Sergey Borisovich - Dr. Sc., Professor, Rector, Zaporizhzhia National Technical University, Zhukovsky str., 64, Zaporizhzhia, 69063, Ukraine. rector@zntu.edu.ua. Phone: +380(61)7642506

Yar-Mukhamedova Gulmira Shariphovna - al-Farabi Kazakh National university, Institute of Experimental and Theoretical physics, Dr. Sc., Professor. Gulmira-agma-ata@mail.ru

Kemelzhanova A. E. - al-Farabi Kazakh National University, Solid State and Nonlinear Physics and. PhD. aiman_90.08@mail.ru

Осы мақалаға сілтеме: Наривский А. Э., Субботин С. А., Беликов С. Б., ЯР-Мухамедова Г. Ш., Кемелжанова А. Е. AISI304 болаттың химиялық құрамы мен оның құрылымдық гетерогендігі және айналым сулардың параметрлерінің пittingке тұрақтылығына әсері // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. – 2019. – №2. – С. 24-33. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.13>