

ӘОЖ 544.653.1
МРНТИ 31.15.33

СОПОЛИМЕРЛІ ҚАПТАМАНЫҢ ҚАСИЕТІН ЭЛЕКТРХИМИЯЛЫҚ ИМПЕДАНСТЫ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

МЫҚТЫБАЙ Ж.Ж., РАХЫМБАЙ Г.С., БАХЫТЖАН Е.Г.,
ДЖУМАНОВА Р.Ж., АРГИМБАЕВА А.М.

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

Аңдатпа: Берілген жұмыста болат бетінде қымыздық қышқылы ерітіндісінен электрхимиялық синтезделген поли (анилин-о-анизиндин) (ПАОА) сополимерінің қорғау қабілеті 3,5% NaCl ерітіндісіне әртүрлі уақытқа батырылып, импедансты спектроскопия әдісімен зерттелінді. Найквист диаграммаларынан алынған мәліметтер арқылы сополимерлі қаптаманың қорғау дәрежесі, су сіңірімділігі және қалыңдығы есептелінді. Қымыздық қышқылы электролитінен синтезделген қаптамалардың адгезиясының нашар болуына байланысты қорғау мәндері бір заңдылыққа бағынбады. Есептеулер нәтижесі бойынша 120 минутқа дейін батырылған қаптама $Z = 78,95 \%$ қорғау дәрежесін, су сіңіру қабілеті $\% = 33,80$, қалыңдық $d = 11,00$ нм-ге тең мәндерді көрсетті.

Түйінді сөздер: электрхимиялық импедансты спектроскопия, коррозия, болат, сополимер, қорғау қабілеті

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ИМПЕДАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Аннотация: В данной работе методом импедансной спектроскопии исследовано защитное свойство электрохимически синтезированного сополимера поли (анилин-о-анизиндина) (ПАОА) в 3,5% растворе NaCl при различной времени экспозиции. На основе диаграмм Найквиста рассчитаны степень защиты, степень поглощения воды и толщина сополимерного покрытия. Обнаружено, что значения защитных свойств не подчиняются определенной закономерности из-за плохой адгезии покрытия, синтезированного из раствора щавелевой кислоты. По результатам расчётов после 120-минутного погружения покрытия в агрессивную среду, были получены следующие значения: $Z = 78,95\%$, $\% = 33,80$ и $d = 11,00$ нм.

Ключевые слова: электрохимическая импедансная спектроскопия, коррозия, сталь, сополимер, защитное свойство

STUDY OF PROPERTIES OF CO-POLYMER COATING BY ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY

Annotation: In this work, the protective property of the electrochemically synthesized poly (aniline-o-anisindin) copolymer (PAOA) in a 3.5% NaCl solution at various exposure times was studied by impedance spectroscopy. Based on the Nyquist diagrams, the degree of protection, the degree of water absorption, and the thickness of the copolymer coating were calculated. It was found that the values of the protective properties do not obey a certain regularity due to poor adhesion of the

coating synthesized from an oxalic acid solution. According to the calculation result after 120 minutes of immersion of the coating in an aggressive environment, the following values were obtained: $Z = 78.95\%$, $\% = 33.80$ and $d = 11.00$ nm

Key words: *electrochemical impedance spectroscopy, corrosion, steel, copolymer, protective property*

Кіріспе

Жұмсақ болат құрылыс жұмыстарында, көлікте, кеме жасау және басқа да көптеген өндірістерде аз шығындалуымен және жоғары механикалық тұрақтылығына байланысты кеңінен қолданылады. Дегенмен, жұмсақ болатты қолданудың басты кемшілігі – қышқылды орталарда коррозияға тұрақтылығының төмендігі болып табылады. Осы себепті қазіргі таңда металды коррозиядан қорғаудың көптеген жаңа әдістері зерттелу үстінде [1-3]. Соның ішіндегі тиімді, әрі сұранысқа ие әдістердің бірі – органикалық қабыршақпен қорғау. Олардың ішінде өткізгіш полимерлі қаптамалар соңғы он жылдықта оңай синтезделуімен, тұрақтылығы, ұйылығы төмен және тотығу-тотықсыздану қасиеттеріне байланысты металдарды коррозиядан қорғауда келешегі бар материалдар ретінде ұсынылып отыр [4]. Өткізгіш полимерлердің басты артықшылығы басқа қорғағыш материалдар секілді коррозиядан қорғау тек қана физикалық барьер арқылы жүргізілмейді, сонымен қатар электрхимиялық барьер арқылы қорғайды. Оның үстіне, өткізгіш полимерлер кеңінен қолданылатын хромқұрамды қаптамалар құрамында кездесетін алтывалентті хроматтар секілді улы емес. Өткізгіш полимерлер электролиттердің ішкі диффузиясына мүмкіндік беретін кеуектілік пен ион алмасу сияқты кемшіліктері болғандықтан, оларды қаптама ретінде алуда қиыншылықтар тудырады. Осыған орай, өткізгіш полимерлі қаптамалардың кеуектілігін төмендету үшін сополимерлену, композиттерді немесе наноккомпозиттерді енгізу қажеттілік тудырады [5-7].

Полианилин өзінің экономикалық өндірісіне, қоршаған ортада жоғары тұрақтылығымен, ұйылығының аздығымен және өткізгіштігін бақылауына байланысты соңғы жылдары кеңінен қолданылуда. Полианилиннің үш тотығу түрі бар: лей-

коэмеральдин, эмеральдин және пернигранилин. Полианилиннің эмеральдин негізіндегі тотыққан түрі ең керекті күй болып табылады. Себебі протонданған эмеральдинді қаптамалар анодты қорғау, коррозияны ингибирлеу секілді қорғағыш механизмдерін қамтамасыз етеді [5,8,9].

Өткізгіш полимерлі қаптамалардың антикоррозиялық қасиеттері электрхимиялық импедансты спектроскопия мен сызықты поляризация әдістерімен зерттеледі [10-13]. Электрхимиялық импедансты спектроскопия (ЭИС) – коррозия механизмін және электрхимиялық реакцияның негізгі параметрлерін ауыспалы ток мәнімен анықтауға негізделген әдіс. Әдістің артықшылығы импедансты әдіспен алынған мәліметтер эквивалентті тізбек көмегімен модельдеу арқылы талданады.

Берілген жұмыста болат электродының бетінде электрсинтезделген поли(анилин-о-анидин) негізіндегі сополимерлі қаптаманың коррозиядан қорғау қабілеті электрхимиялық импедансты спектроскопия әдісімен зерттелініп, су сіңіру қабілеті мен қаптама қалыңдығы есептелінді.

Тәжірибелік бөлім

Электрхимиялық зерттеулер термостат көмегімен 25°C температурада, үшэлектродты ұяшықта жүрізілді. Жұмысшы электрод ретінде ауданы 0,125 см²-қа тең Ст3 маркалы болат, салыстырмалы электрод ретінде KCl-дің 3 М ерітіндісіне батырылған хлорлы күміс электроды (Ag/AgCl), ал көмекші электрод ретінде тазалығы жоғары платина қолданылды. Әр жұмыс алдында жұмысшы электрод беті №800, №1500, №2000 абразивті қағаздарымен тазаланып, майсыздандыру үшін этил спиртімен (90 %) өңделіп отырды.

Полимерлі қаптамамен қапталған болат электроды 3,5 %-ды NaCl ерітіндісіне әртүр-

лі уақыт (0, 30, 60, 120, 180 минут) өзгерісінде батырылды. Сәйкесінше, әрі қарай сополимерлі қаптаманың антикоррозиялық қасиеттері мен беттік механикалық сипаттамалары электрхимиялық импедансты спектроскопия әдісімен зерттелінді. Қолданылған процедура Fra Impedance жиілігі 10^5 Гц- $9 \cdot 10^{-3}$ Гц аралығында жүргізілді.

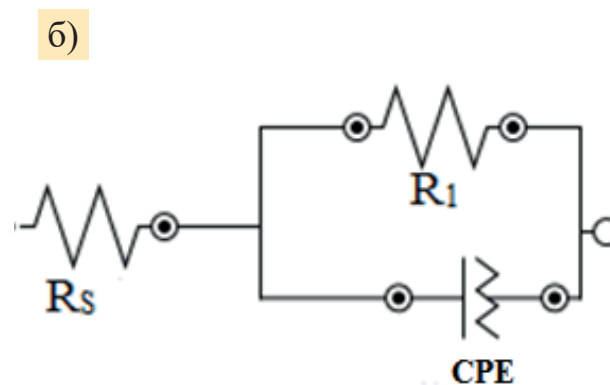
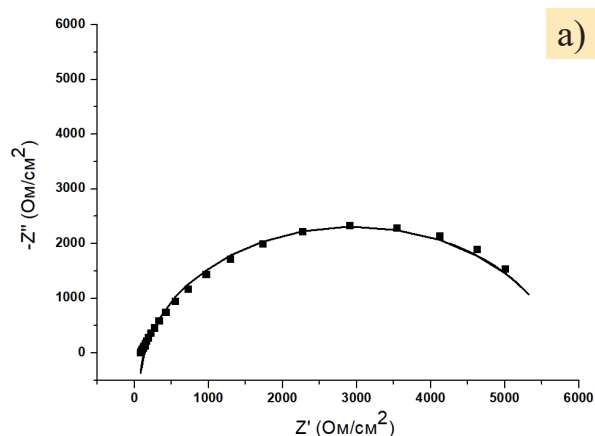
Электрхимиялық үдерістер Autolab PGSTAT 302N потенциостат-гальваностат қондырғысында жүргізіліп, Nova 1.10 және Origin Pro8 бағдарламаларында өңделді.

Нәтижелер және оларды талқылау

Полимерлі қаптама циклді вольтамперометрия әдісімен $-0,5 \div 1,4$ В аралығында, 20 мВ/с потенциал беру жылдамдығында, 0,3 М $H_2C_2O_4$ 0,1 М анилин 0,1 М о-анидин электролитінен синтезделді. Тура сканерлеу кезінде $0,5 \div 1,3$ В аралығында анодты

шың, кері сканерлеу кезінде $0,4 \div 0,1$ В потенциалдарындағы катодты шыңдар анилин мен о-анидиннің тотығу-тотықсыздану потенциалдарына сай келді.

Синтезделген қаптамалардың қорғау механизмін таза болат бетімен салыстыра анықтау үшін, алдымен таза болат электрод беті зерттелуі тиіс. Осы мақсатта, қаптамасыз болат бетінің импедансы түсіріліп, Найквист диаграммасы алынды (1а сурет). Жоғары және төменгі жиілікте пайда болған жартылай шеңбер формасы электролит/электрод шекарасында болатын реакцияға тікелей байланысты. Осыған орай 1а-суреттегі диаграммадан қисықтың жартылай шеңбер формада болуы, заряд алмасу үдерісі кинетикалық режиммен жүретіндігін көрсетеді. Алынған диаграммадан детальді мәліметтер алу үшін электрхимиялық жүйеге сәйкес эквивалентті электрлі схема моделі құрастырылады (1б-сурет).



1 сурет – а) 3,5 %-ды NaCl ерітіндісінде зерттелінген таза болат Найквист қисығы, б) 3,5 %-ды NaCl ерітіндісінде зерттелінген таза болат Найквист қисығына сәйкес схема моделі: R_s – электролиттің кедергісі, R_1 – қаптама кедергісі, CPE – фазалық элемент константасы

Таза болат электрод үшін схема: R_s – ерітінді кедергісі, R_1 – электрод/электролит шекарасында түзілетін қос электрлік қабаттың кедергісі, CPE – фазалық элемент константасы.

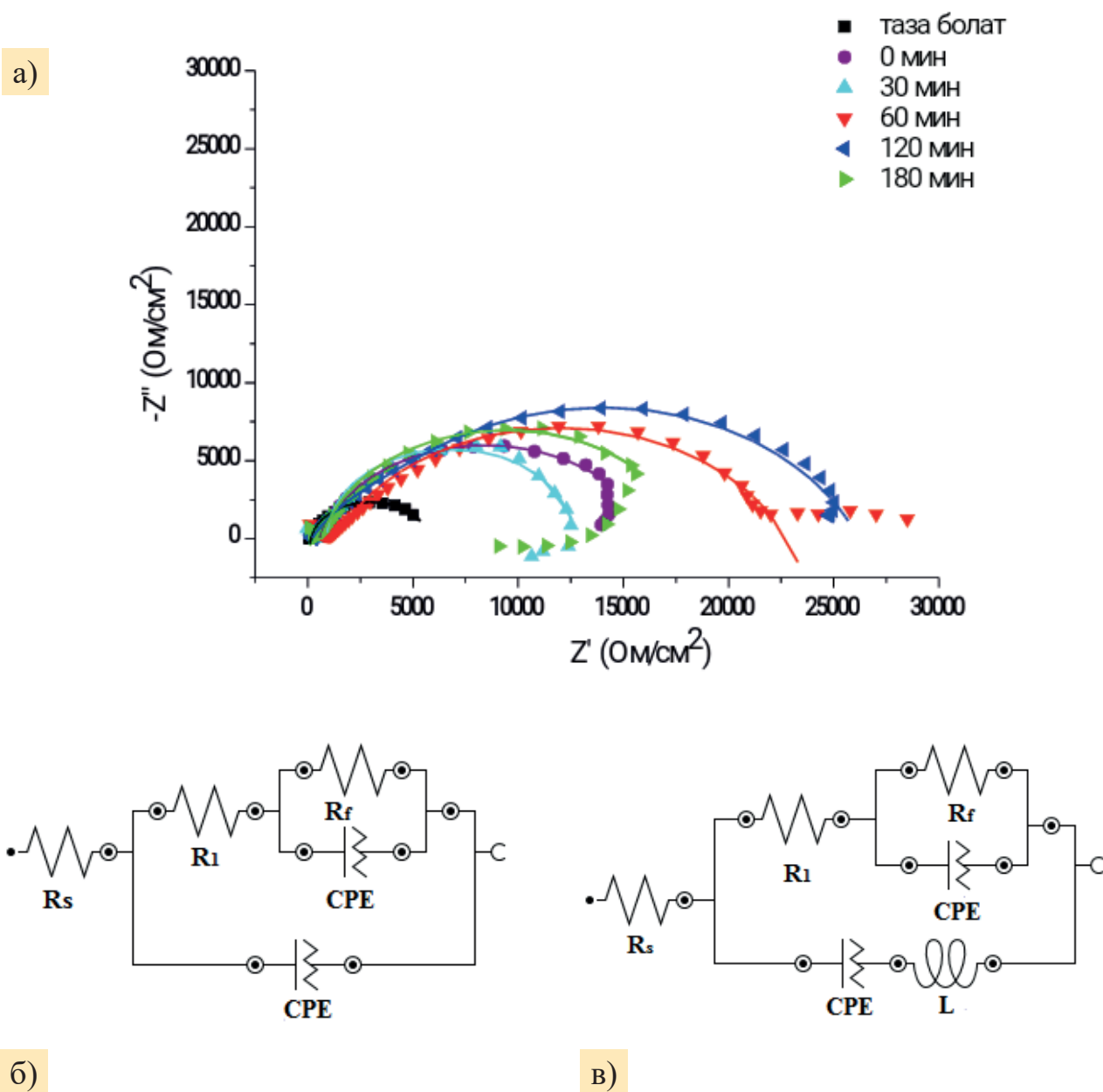
Қымыздық қышқылында синтезделген сополимерлі болат беті 3,5 %-ды NaCl ерітіндісінде әртүрлі уақытқа батырылған Найквист диаграммалары 2а-суретте келтірілген. Таза болат бетімен сополимерлі қаптама бетінің

Найквист диаграммаларын өзара салыстырғанда, сополимерлі қаптамалардың кедергі мәнінің жоғары болуы көрінеді. Бұл болат беті полимерлі қаптамамен қапталғанын көрсетеді. Жартылай шеңберлердің диаметрі ерітіндіге батыру уақытына орай белгілі бір заңдылықпен кемуі тиіс еді. Дегенмен, синтезделген сополимерлі қаптамаларды әртүрлі уақытқа батырылуы нәтижесінде алынған кедергі мәндері заңдылыққа бағынбайды. Бұл

қымыздық қышқылы электролитінде синтезделген қаптамалардың адгезиясының нашар, біртекті болуымен түсіндіруге болады. Кедір-бұдырлы қаптаманың алынғанын Найквист жартылай шеңберлі диаграммасы жазық көлбеулі сипатта болуы да көрсетеді [15].

Таза болат бетіне арналған қарапайым эквивалентті электрлі схема моделінен полимерлі қаптамалар үшін құрастырылған импедансты схема моделі ерекшелінеді. Полимерлі

қаптамалы электрод үшін қосымша электролит және қос электрлік қабаттың кедергісінен бөлек тағы бір қаптамаға арналған кедергі, фаза элементінің константасы мен индуктивтілік элементтері қосылады. Жоғарыда айттып кеткендей, схема элементтері қисықтың формасына да қарай таңдалынады. 2б суретке сәйкес схема 0, 30, 60, 120 минутқа батырылған қаптамалардың Найквист диаграммаларын сипаттайды.



2 сурет – а) Таза болат пен сополимермен қапталған электродтың 3,5 %-ды NaCl ерітіндісіндегі Найквист қисықтары, б), в) Найквист қисықтарына сәйкес эквивалентті электрлі схема моделі: R_s – электролиттің кедергісі, R_1 – қосэлектрлік қабаттың кедергісі, CPE – фазалық элемент константасы, R_f – қаптама кедергісі, L – индуктивтілік

30 және 180 минут бойы ұсталынған қаптаманың Найквист диаграммасында жартылай шеңбердің соңы ішке қарай иірім түзгендігі байқалады. Әдебиеттерде бұл құбылысты индуктивтіліктің болуымен түсіндіріледі. Индуктивтілік элементі магниттік өріс энергиясының тиісті электр тогымен өзара байланысын көрсетеді. Импеданстық талдауда бұл элемент жалғанатын сымдарды, ұяшықтың жалғанған бөліктері және зерттелетін объектінің өзіндік индуктивтілігін пайда болған кезінде қолданылады. Сәйкесінше, схеманы құрастыру кезінде индуктивтілік элементін қосу ескеріледі. Индуктивтілік адсорбцияланған коррозия өнімдер мен полимерлі қап-

тамалар арасында «тұрақтануына» байланысты [16].

Найквист қисықтарының эквивалентті электрлі схемасына сәйкес алынған кедергі мәндері бойынша болат бетіне синтезделген поли(анилин-со-о-анизидин) қаптамасының қорғау қабілеті келесі теңдеу бойынша есептелінді:

$$Z = \frac{R_f - R_b}{R_f} * 100\% \quad (1)$$

мұндағы: R_f – алынған полимерлі қаптама кедергісі, R_b таза болат бетінің кедергісі.

Эквивалентті схеманың моделінен алынған көрсеткіштер мен қорғау қабілеті 1-кестеде келтірілген.

1 кесте – Агрессивті ортада ұсталынған қаптамалардың эквивалентті электрлі схема моделі бойынша алынған мәліметтері

Көрсеткіш Тәжірибе уақыты	CPE. (Ф)	Rs.(кОм)	N	Z, %
Таза болат	0,00024	0,022	0.998	-
0 мин	367,91	68,38	0,998	76,05
30 мин	640,79	96,08	0,999	53,60
60 мин	73,51	109,9	0,995	74,55
120 мин	102,09	160,12	0,995	78,95
180 мин	162,91	79,90	0,997	68,72

Нәтижелерге сәйкес ең тиімді көрсеткіш агрессивті ортада 120 минут ұсталынып, зерттелінген қаптамада болып табылады. Поли(анилин-со-о-анизидин) қаптамаларының қорғау қабілетінің арасында белгілі бір тәуелділік және заңдылық байқалмайды. Себебі, қымыздық қышқылды ортада алынған органикалық қаптаманың легирлеуші қасиеті төмен және адгезиясы нашар болып табылды. Полианилин және о-анизидиннің сополимерін алуда ортаның қышқылдығы әсер етеді. Қымыздық қышқылды ортада ортаның рН көрсеткіші 1,8-ге тең.

Құрастырылған эквивалентті схемалар бойынша, көптеген маңызды мәліметтер алуға болады. Қымыздық қышқылы электролитті ортада синтезделінген поли(анилин-со-анизидин) қаптамаларына сәйкес Найквист қисықтарының эквивалентті электрлі схемасында CPE элементі барын байқай-

мыз. Эквивалентті схема моделіндегі идеалды емес жиілік берілу құбылысын компенсациялау үшін сыйымдылық элементтерін фазалық элемент константасымен (CPE/Q) алмастырады [17]. Қапталған беттердің идеалды емес сыйымдылық мәні бірнеше аспектілермен түсіндіріледі: беттік дисперсті реактивтілік және біртексіздік, кеуектілік және электродтардың кедір-бұдырлығы. Ары қарай импеданс төменде келтірілген теңдеу бойынша сипатталады:

$$Z_{CPE} = 1/Y (j \cdot \omega)^n \quad (2)$$

Мұндағы: Y – жиілікке тәуелді емес CPE, j – жалған (мнимое) сан ($j = (-1)^{1/2}$), ω – жиілік бұрышы ($\omega = 2\pi f$), ал n – бөліну шекарасын идеалды конденсатордан ауытқуын айқындайтын коэффициент ($0 < n < 1$).

Электрхимиялық схема арқылы Y_0 , n және R арқылы алынып, сыйымдылық келесі формуламен есептелінеді:

$$C_c = (Y_0 * R) \left(\frac{1}{n} \right) / R \quad (4)$$

мұндағы R қаптама кедергісі;

Есептелген сыйымдылық мәнін қолдана отыра, қаптаманың су сіңірімділігімен қалыңдығын келесі теңдеулер арқылы есептеуге болады [18]:

Судың сіңіру қабілеті

$$\% = \frac{\log C(t) / \log C(0)}{\log 80} * 100 \quad (5)$$

$$d = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 A}{C} \quad (6)$$

мұндағы: $C(t)$ бір уақытқа сәйкес сыйымдылық, $C(0)$ – 0 минуттағы сыйымдылық мәні, $\log 80$ тұрақты мән, d қаптама қалыңдығы, ε – мономердің диэлектрлік тұрақтысы, ε_0 – вакуумның диэлектрлік тұрақтысы, $8,85 \cdot 10^{-14}$ Ф/см. Есептелінген нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

2 кесте – Қымыздық қышқылында синтезделген қаптама бетінің біркелкілігі, су сіңірімділігі және қабыршақ қалыңдығы

Көрсеткіш Тәжірибе уақыты	% (H ₂ C ₂ O ₄)	d, нм (H ₂ C ₂ O ₄)
0 мин	-	2,30
30 мин	55,61	1,30
60 мин	58,00	8,50
120 мин	33,80	11,00
180 мин	58,00	5,00

2-кестедегі мәндер бойынша қаптама бетінің су сіңіру қабілеті төмен және қаптама қалыңдығының жоғары көрсеткіш мәні 120 мин. ұсталу уақытында байқалды. Негізінен қаптаманың су сіңіру қабілеті сыйымдылық (C_c) мәнімен сипатталады. Сыйымдылық мәні жоғарылаған сайын қаптаманың су сіңіру қабілеті де жоғарылайды. Алайда, синтезделген қаптамалардың адгезиясы барлық жағдайда бірдей болмағандықтан, сыйымдылық мәндерінің біркелкі өсуі байқалмайды. Су сіңірімділік алынған қаптамалардың агрессивті орта әсерінен кеуектілік түзіп, судың өтіп кетуімен түсіндіріледі. Қаптама қалыңдығының төмендеуі, қаптама кеуектерінен су молекулаларының өтіп, сополимерлі қабат бұзылуы пайда болады. Қаптамалардың бұзылуы және су сіңірімділіктің артуы қымыздық қышқылында синтезделген полимерлі қаптамалар бетінің кеуекті болуы мүмкін деп болжанады.

Әдеби шолуларға сәйкес, қаптама бетінің кеуектілігін полимер құрамына композиттер және наноккомпозиттерді қоса отыра төмендетуге болады. Алдағы уақытта, полимер матрицасына интеркаляцияланған металл оксидтерінің нанобөлшектерін синтездеу жұмыстары жүргізіледі.

Қорытынды

Болат бетіне электрхимиялық әдіспен синтезделген анилин мен о-анизидин негізіндегі сополимерлі қаптамалардың коррозиядан қорғау қабілеті 3,5 %-ды NaCl ерітіндісіне әртүрлі уақытқа батырылып, электрхимиялық импедансты спектроскопия әдісімен зерттелінді. Найквист диаграммасынан анықталған ПАОА қаптаманың кедергі мәндері уақытқа байланысты бір заңдылыққа бағынбағаны байқалды. Электрхимиялық сызбадағы кедергі мен сыйымдылық мәндерінен коррозиядан қорғау қабілеті, су сіңірімділігі

гі және қаптаманың қалыңдығы есептелінді. Алынған бұл көрсеткіштер де қандай да бір заңдылыққа бағынбады, дегенмен 120 минут батырғаннан сополимерлі қаптаманың қорғау қабілеті $Z = 78,95 \%$, су сіңірімдігі $\% = 33,80$

және қалыңдығы $d = 11,00$ нм мәнін көрсетті. Бұл құбылысты синтезделген сополимерлі қаптамалардың адгезиясы нашар, біртексіз және кеуекті болуымен түсіндіруге болады.

Жұмыс ҚР БҒМ қолдауымен «AP05134571 Өндірістік металдарды ингибиторлы және полимерлі нанокомпозитті қорғау» жобасы аясында жүргізілді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Deshpande P. P. Conducting polymers for corrosion protection: a review // Journal of Coatings Technology and Research 4. – 2014. – P. 473-494.
2. Anna M. Fenelon, Carmel B. Breslin. Polyaniline-coated iron: studies o the dissolution and electrochemical activity as a function of pH // Surface & Cotings Technology 190. – 2005. – P. 264-270.
3. Syed J.A., Tang H. Lu. Enhanced corrosion protective PANI-PAA/PEI multilayer composite coatings for 316SS by spin coating technique // Application Surface Science 325. – 2015. – P. 160–169.
4. M. Kraljic, Z. Mandic, Lj. Duic. Inhibition of steel corrosion by polyaniline cotings // Corrosion Science 45/ - 2003. – P. 181-198.
5. Xu Q., Hu Xiao-Ya. Electrochemical Sensors Based on Electropolymerized Films // College of Chemistry and Chemical Engineering 45. – 2010.– P. 245-252.
6. Zarras P., Stenger-Smith J.D. Electro-active polymer (EAP) coatings for corrosion protection of metals // Progress in Organic Coatings 54. – 2014. – P. 458-465.
7. Hongbin Lu, Youzhen Zhou, Sascha Vongehr, Kun Hu, XiangkangMeng. Electropolymerization of PANI coating in nitric acid for corrosion protection of 430 SS // Synthetic Metals 161. – 2011. – P. 1368-1376.
8. Sc M., Eng B.A Parametric Investigation on the Influence and Inhibition Performance on CO2 Corrosion of Carbon Steel // Science and Engineering. – 2017. – P. 254-265.
9. A.T. Ozyilmaz*, G. Ozyilmaz, O. Yigitoglu. Synthesis and characterization of poly(aniline) and poly(o-anisidine) films in sulphamic acid solution and their anticorrosion properties // Progress in Organic Coatings 67.– 2010.– P. 28–37.
10. A.T Ozyilmaz, M. Erbil, B. Yazici. Investigation of corrosion behaviour of stainless steel coated with polyaniline via electrochemical impedance spectroscopy // Progress in Organic Coatings 51. – 2004. – P. 47-54.
11. K. Kamaraj, V. Karpakam, S. Sathiyarayanan, G. Venkatachari. Electrosynthesis of poly(aniline-co-m-amino benzoic acid) for corrosion protection of steel // Materials Chemistry and Physics 122. – 2010. – P. 123-128.
12. Sadowski. L. New non-destructive method for linear polarisation resistance corrosion rate measurement // Wrocław University of Technology 25. –2010. – P. 370-380.
13. K.M. Govindaraju V. Collins Arun Prakash. Synthesis of zinc modified poly(aniline-co-pyrrole) coatings and its anti-corrosive performance on low nickel stainless steel // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 465. – 2015. – P. 11-19.
14. Yingjun Z, Yawei S, Xiaoling L, Chao S, Yanqiu W, Guozhe M, Xianguang Z, Yan Y. A study on corrosion protection of different polyaniline coatings for mild steel // Progress in Organic Coatings 111. – 2017.– P. 240-247.

15. Ambrish Singh, Yi Caihong, Yang Yaocheng, Neetesh Soni, Yuanpeng Wu, Yuanhua Lin. Analyses of new electrochemical techniques to study the behavior of some corrosion mitigating polymers on N80 tubing steel // *Acs Omega* 4. – 2019. – P. 3420-3431.
16. Saviour A. Umoren, Moses M. Solomon, A. Madhankumar, Ime B. Obot. Exploration of natural polymers for use as green corrosion inhibitors for AZ31 magnesium alloy in saline environment // *Carbohydrate Polymers* 230. – 2020. – P. 1-37.
17. Denise M. Lenz, Michel Delamar, Carlos A. Ferreira. Application of polypyrrole/TiO₂ composite films as corrosion protection of mild steel // *Journal of Electroanalytical Chemistry* 540. – 2003. – P. 35-44.
18. Hosseini M. G., Bagheri R., Najjar R. Electropolymerization of polypyrrole and polypyrrole-ZnO nanocomposites on mild steel and its corrosion protection performance // *Journal of Applied Polymer Science* 6. – 2011. – P. 3159-3166.