

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**  
**ДОНИШГОҶИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН**  
**БА НОМИ АКАДЕМИК М.С. ОСИМӢ**  
**ИНСТИТУТИ ХИМИЯИ БА НОМИ В.И. НИКИТИНИ АКАДЕМИЯИ**  
**МИЛЛИИ ИЛМҶОИ ТОҶИКИСТОН**

**АМИНОВ Фируз Миррахимович**

**УДК 669.5: 620.193**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*

**ТАЪСИРИ ТИТАН ВА СИРКОНИЙ БА ХОСИЯТҶОИ**  
**ХӢЛАҶОИ РӢҶИИ  $Zn_5Al$  ВА  $Zn_{55}Al$**   
**аз рӢи ихтисоси**  
**05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02.-саноати мошинсозӣ)**

**РИСОЛА**

**барои дарёфти дараҷаи илмии**  
**номзади илмҶои техникӣ**

**Роҳбари илмӣ:** номзади илмҶои  
техникӣ, дотсент **Алиев Ҷамшед**  
**Насридинович**

**Мушовири илмӣ:** доктори илмҶои  
химия, академики Академияи  
илмҶои Тоҷикистон, профессор  
**Ғаниев Изатулло Наврузович**

**Душанбе - 2023**

## МУНДАРИЧА

РЀЙХАТИ МУХТАСАРШУДА ВА ИШОРАТҲОИ ШАРТӢ.....	5
МУҚАДДИМА.....	6
ТАВСИФИ УМУМИИ КОР.....	8
<b>БОБИ 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ РЀҲ ВА</b>	
<b>ХЀЛАҲОИ ОН (шарҳи адабиёт).....</b>	
1.1. Хосиятҳои асосӣ ва соҳаҳои истифодашавии рӯҳ ва хӯлаҳои он.....	13
1.2. Хосиятҳои физикаии гармои рӯҳ, алюминий, титан, сирконий ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ.....	17
1.3. Хусусиятҳои оксидшавии рӯҳ ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ.....	31
1.4. Зангзании рӯҳ ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ.....	34
1.5. Хулосаҳо аз рӯйи шарҳи адабиёт ва вазифагузорӣ кардан.....	43
<b>БОБИ II. ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИИ ГАРМИҒУНҶОИШ ВА</b>	
<b>ТАҒИИРӢБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ</b>	
<b>ХЀЛАҲОИ РЀҲӢ-АЛЮМИНИИ <math>Zn5Al</math>, <math>Zn55Al</math> БО ТИТАН</b>	
<b>ВА СИРКОНИЙ.....</b>	
2.1. Назарияи усул ва тавсифи таҷҳизот барои чен кардани гармиғунҷоиши қисмҳои саҳт.....	45
2.2. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирӢбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ .....	51
2.3. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирӢбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ бо титан.....	58
2.4. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирӢбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ бо сирконий.....	69
2.5. Хулоса ба боби II.....	77

<b>БОБИ III. КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАҶОИ РҶХҶ-АЛЮМИНИИ <math>Zn5Al</math> ВА <math>Zn55Al</math> БО ТИТАН ВА СИРКОНИЙ.....</b>		82
3.1. Методикаи тадқиқоти кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хҶлаҳои онҳо .....		82
3.2. Оксидшавии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn5Al$ бо титан дар ҳолати сахтӣ .....		86
3.3. Оксидшавии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn55Al$ бо титан дар ҳолати сахтӣ .....		94
3.4. Оксидшавии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn5Al$ бо сирконий дар ҳолати сахтӣ .....		101
3.5. Оксидшавии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn55Al$ бо сирконий дар ҳолати сахтӣ .....		108
3.6. Сахтии хҶлаҳои рҶхҶ-алюминии $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ бо титан ва сирконий.....		114
3.7. Хулоса ба боби III .....		118
<b>БОБИ IV. ТАДҚИҚОТИ РАФТОРИ ЗАҶЗАНҶ-ЭЛЕКТРОХИМИЯВИИ ХҶЛАҶОИ РҶХҶ-АЛЮМИНИИ <math>Zn5Al</math> ВА <math>Zn55Al</math> БО ТИТАН ВА СИРКОНИЙ.....</b>		122
4.1. Методикаи тадқиқоти ҳосиятҳои электрохимиявии хҶлаҳои рҶхҶ-алюминӣ.....		122
4.2. Рафтори анодии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn5Al$ бо титан дар муҳити электролити NaCl.....		124
4.3. Рафтори анодии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn55Al$ бо титан дар муҳити электролити NaCl.....		130
4.4. Рафтори анодии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn5Al$ бо сирконий дар муҳити электролити NaCl.....		136
4.5. Рафтори анодии хҶлаи рҶхҶ-алюминии $Zn55Al$ бо сирконий дар		

муҳити электролити NaCl.....	142
<b>4.6. Хулосаҳо ба боби IV.....</b>	<b>148</b>
ХУЛОСАҲО.....	157
АДАБИЁТ.....	160
ЗАМИМА.....	177

**РҶЙҲАТИ МУХТАСАРШУДА ВА ИШОРАТҲОИ ШАРТӢ**

Zn5Al	Хӯлаи рӯҳ бо 5% алюминий (аз рӯйи вазн)
Zn55Al	Хӯлаи рӯҳ бо 55% алюминий (аз рӯйи вазн)
ГОСТ	Стандарти давлатӣ
БИОМЕД	Микроскопи электрони монокулярӣ мушоҳидавӣ
МИЗ	Метал(ҳо)и ишқорзаминӣ
МНЗ	Метал(ҳо)и нодирзаминӣ
ЛАТР	Автотрансформатори озмоишгоҳӣ
СШОЛ	Оташдони барқии озмоишгоҳӣ (муқовиматӣ; конӣ; таҷрибавӣ; озмоишгоҳӣ)
АРВ-200	Тарозуи таҳлилӣ
ТШ-2	Асбоб барои чен кардани сахтӣ аз рӯйи усули Бринелл
АМИТ	Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
КОА	Комиссияи олии аттестатсионӣ
Т	Ҳарорат

## МУҚАДДИМА

*Мубрамӣ ва зарурияти гузаронидани тадқиқот оид ба мавзӯи рисола.*

Пешравии илмӣ-техникии муосир инкишофи баланди тараққиёти металлургияи рангаро таъмин менамояд. Дар ҳаҷми умумии истеҳсоли металҳои рангаи таъйиноти истеҳсолотӣ рӯҳ ҷойи чорумро ишғол менамояд. Рӯҳ ва хӯлаҳо дар асоси он, пайвастагиҳои рӯҳии гуногун бо шарофати хосиятҳои махсус ҳамчун масолеҳи конструксионӣ ва ғайриконструксионӣ истифодашавии васеъро дарёфт намудаанд [1,2].

Ба сифати масолеҳи конструксионӣ хӯлаҳои рӯҳӣ алалхусус барои асбобсозӣ, дар саноатҳои полиграфӣ ва авиатсионӣ, дар саноати автомобилсозӣ, дар киштисозӣ, барои тайёр кардани молҳои хоҷагии рӯзгор истифода бурда мешаванд. Ба сифати масолеҳи ғайриконструксионӣ хӯлаҳои рӯҳӣ барои рехтани анодҳо-протекторҳо, барои тайёр кардани лаҳимҳои васлқунанда ҳангоми истеҳсоли подшипникҳо ва элементҳои галваникӣ ҳамчун рӯйпӯши варақаҳои пӯлодӣ истифода мешаванд [1, 2].

Хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бештар барои бо онҳо рӯйпӯш кардани варақаҳои металлӣ, тайёр кардани нимашё ва рехтаҳои мукарнас васеъ истифода бурда мешаванд. Дар солҳои охир хӯлаҳо дар асоси рӯҳ барои тайёр кардани протекторҳои рехтахосилшуда, ки барои муҳофизати киштиҳои баҳрӣ ва иншооти металлӣ аз зангзанӣ зарур мебошанд, истифодашавии васеъ пайдо намудаанд [3, 4].

*Дараҷаи омӯхта шудани масъалаи ҳалталаби илмӣ, асосҳои тадқиқоти назариявӣ ва методологӣ.* Миёни металҳое, ки дар саноати гуногун истифода бурда мешаванд, рӯҳ ҷойи намоёнро ишғол менамояд. Ҳамчун масолеҳи конструксионӣ рӯҳи ҷавҳарониданашуда истифодашавии васеъро пайдо накардааст, чунки маҷмӯи хосиятҳои механикӣ, физикӣ ва технологияи нокифояи мусоидро доро мебошад. Лекин ҷавҳаронидани

иловагии рӯҳ бо элементҳои гуногун хосиятҳои дар боло зикрнамуда ва тавсифҳои онро ба таври қатъӣ баланд мебардоранд [3, 4].

Бинобар дар адабиёт мавҷуд набудани маълумот оид ба таъсири титан ва сирконий ба хосиятҳои физикаи гармо ва функцияҳои термодинамикӣ, кинетикаи оксидшавии баландҳароратӣ ва рафтори зангзанӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ дар қори мазкур мақсад гузошта шудааст, ки ҷойи ҳолӣ оид ба хосиятҳои рӯҳ ва хӯлаҳои он пурра гардонда шавад. Қор дар доираи мавзӯи «Стратегияи миллии тараққиёти Тоҷикистон дар давраҳои то соли 2030» оид ба инноватсиякунонӣ (пешравӣ дар асоси навигариҳо дар ҳамаи соҳаҳои ҳаёти иҷтимоӣ-иқтисодии кишвар) иҷро карда шудааст.

## ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

**Мақсади тадқиқот** коркарди таркибҳои муътадили хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий, ки ҳамчун рӯйпӯши анодӣ барои муҳофизати металлоконструксияҳо, махсусан конструксияҳои пӯлодӣ ва иншоот аз зангзанӣ истифода бурда мешаванд, ба ҳисоб меравад.

### **Объекти тадқиқот:**

Ҳамчун объектҳои тадқиқот рӯҳи тамғаи Ц1 (ГОСТ 3640-94), алюминийи тамғаи А7 (ГОСТ 11069-2001) ва ҷавҳарии алюминий бо титан (2,5% Ti) ва сирконий (2% Zr), хӯлаҳои рӯҳии таъйиноти гуногун ба ҳисоб мераванд.

**Мавзӯи тадқиқот:** ҳамчун мавзӯи тадқиқот хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда ба ҳисоб мераванд.

### **Вазифаҳои тадқиқот:**

- тадқиқ намудани хосиятҳои термодинамикӣ ва физикаи гармои хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий;
- омӯختани кинетика ва механизми равандҳои оксидшавии хӯлаҳо, дар ҳолати саҳт;
- муайян кардани қонуниятҳои тағйирёбии тавсифҳои анодии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда, дар муҳити электролити NaCl;
- коркарди таркибҳои муътадили хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий ва муҳофизати онҳо бо нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон;
- иҷро кардани таҳлили металлографии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда бо ёрии микроскопи монокулярӣ тамғаи БИОМЕД - 1 (Украина);
- муайян кардани таъсири титан ва сирконий ба саҳтӣ ва мустаҳкамӣ хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашудаи Zn5Al ва Zn55Al бо ёрии асбоби саҳтисанҷӣ тамғаи ТШ-2.



**Усулҳои тадқиқот:**

- таҳлили микрорентгеноспектралии таркиби хӯлаҳо дар микроскопи монокулярӣ тамғаи БИОМЕД - 1;
- тадқиқоти физикаи гармои хӯлаҳо дар речаи «хунукшавӣ»;
- омӯзиши термогравиметрии кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо;
- тадқиқоти потенциостатикӣ хӯлаҳо бо истифода бурдани потенциостати ПИ-50.1.1, дар речаи потенциодинамикӣ;
- омӯзиши сахтӣ ва ҳудуди устувории хӯлаҳо дар асбоби ТШ-2.

**Соҳаи тадқиқот** металлургия ва масолеҳшиносии хӯлаҳо ба ҳисоб меравад. Кори рисола аз рӯйи ду равияи илмӣ иҷро карда шудааст: масолеҳшиносӣ (дар мошинсозӣ) ва металлургияи металҳои сиёҳ, ранга ва нодир.

**Марҳилаҳои тадқиқот.** Тадқиқоти кори рисола дар давраҳои солҳои аз 2016 то 2022 дар се марҳила иҷро карда шудааст. Дар рафти иҷрои марҳилаи якум (солҳои 2016-2018) шарҳи маводи методикӣ дар адабиёти мавҷудбуда оид ба масъалаҳои ҳалталаби пешрафти масолеҳшиносӣ ва металлургияи металҳои сиёҳ, ранга ва нодир, таркибҳои фикрронии техникӣ, адабиёти методӣ оид ба масъалаи тадқиқот гузаронида шуд.

Ҳангоми иҷрои марҳилаи дуюм (солҳои 2018-2020) мафкураҳои ҷамъбасти тадқиқот мухтасар ифода карда шуда буданд, масъалаи илмӣ ҳалталаб ошкор карда шуд ва фарзияҳои тадқиқот аниқ ифода карда шуданд, мақомҳои муҳимтарини рисола, ки дар конференсияҳои байналмиллалӣ илмӣ-амалии гуногун муҳокима карда шуда буданд, қоркард ва маъқул доништа шуд.

Дар марҳилаи сеюм (солҳои 2020-2022) тафтиши қисми таҷрибавӣ фикрҳо оид ба рисола иҷро гардида, инчунин ба тартиб даровардани маводи тадқиқот иҷро карда шуд.

**Базаи асосии маълумотӣ ва таҷрибавӣ** – таҷрибаҳо дар давоми солҳои 2016 то 2022-юм дар базаи кафедраи «Масолеҳшиносӣ, мошинҳо ва таҷҳизоти металлургӣ»-и ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ ва дар озмоишгоҳи «Маводҳои ба зангзанӣ устувор»-и Институти химия ба номи В.И. Никитини

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон гузаронида шуданд. Ба тадқиқоти таҷрибавӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$ ,  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда фаро гирифта шуда буданд.

***Муътамад будани натиҷаҳои рисола.***

- таъя ба мавқеи бунёдии назария ва методикаи омӯзиши хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , ки бо титан ва сирконий чавҳаронида шудаанд;

- бо таҳлили масъалаи ҳалталаби мавҷудбуда аз нуқтаи назари ҷӣ назария ва ҷӣ амалияи тадқиқоти хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , ки бо титан ва сирконий чавҳаронида шудаанд;

- бо маҷмӯи усулҳои тадқиқот, таҳлилҳои бисёрқаратаи натиҷаҳои асосии тадқиқоти хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , ки бо титан ва сирконий чавҳаронида шудаанд.

***Навгони илми кор.*** Дар асоси таҳлили амиқи маълумоти адабиётӣ ва тадқиқоти таҷрибавӣ вобастагии ҳароратии функцияҳои физикаи гармо ва термодинамикии хӯлаҳои рӯҳии  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда, муқаррар карда шудаанд. Қонуниятҳои равандҳои оксидшавии баландҳарорати хӯлаҳои сегонаи рӯҳӣ-алюминий бо титан ва сирконий дар муҳити фазогӣ дар ҳолатҳои сахтӣ нишон дода шудаанд. Қонуниятҳои тағйирёбии тавсифҳои анодии хӯлаҳои рӯҳии  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  дар муҳити электролитӣ  $NaCl$  аз миқдори титан ва сирконий муқаррар карда шудаанд.

***Арзиши назариявии тадқиқот*** дар муқаррар кардани вобастагии функцияҳои термодинамикӣ, гармиғунҷой, тавсифҳои энергетикӣ ва кинетикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда иборат мебошад.

***Арзиши амалии тадқиқот*** дар коркарди таркибҳои муътадили хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда иборат мебошад.

***Мавқеъҳое, ки ба ҳимоя пешкаш мегарданд:***

– натиҷаҳои тадқиқоти хосиятҳои физикаи гармо, вобастагҳои ҳароратии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда;

– қонуниятҳои тағйирёбии параметрҳои энергетикӣ ва кинетикии раванди оксидшавии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда;

– муайян кардани механизми оксидшавии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий дар ҳолати сахтӣ;

– асоснок кардани тағйирёбии тавсияҳои анодии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда вобаста аз муҳити NaCl ва миқдори иловаи чавҳарӣ.

***Саҳми шахсии унвонҷӯ*** дар таҳлили маълумоти манбаъҳои адабиётӣ, гузаронидани таҷрибаҳо дар озмоишгоҳҳо, ҳалли масъалаҳои тадқиқот ва дар таҳлили натиҷаҳои бадастомада, инчунин тартиб додани мавқеъҳои асосӣ ва хулосаҳои рисола иборат мебошад.

***Тасдиқи маълумоти рисола ва натиҷаҳои истифодашудаи он.*** Натиҷаҳои кори рисола дар конференсияҳои илмӣ зерин муҳокима ва маълумот дода шудаанд: Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Масъалаҳои масолаҳои дар мошинсозии Ҷумҳурии Тоҷикистон» бахшида ба «Рӯзи кимиёгарон» ва 80-солагии рӯзи таваллуди доктори илмҳои техникӣ, профессор, академики Академияи байналмилалӣ муҳандисӣ Ваҳобов Анвар Ваҳобович (Душанбе, 2016); Хонишҳои XIII Нуъмонӣ «Дастовардҳои илми кимиё дар 25 соли истиқлолияти Ҷумҳурии Тоҷикистон» бахшида ба 70-солагии ташкилёбии Институти кимиёи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (Душанбе, 2016); Конференсияи XX байналмилалӣ илмӣ-амалии «Ғамоҷулоҳои муосири тараққиёти илм ва технологияҳо» (Белгород, 2016); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Тараққиёти ояндадори илмҳои табиӣ» бахшида ба амаликунии «Барномаи тараққиёти илмҳои табиӣ, риёзӣ ва техникӣ дар солҳои 2010-2020». ДСРТ

(Славянӣ) (Душанбе, 2018). Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Дурнамои истифодаи маводи ба коррозия устувор дар саноати Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Душанбе, 2018). Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрон, унвонҷӯён ва олимони ҷавон “Муҳандис-2019” (Душанбе, 2019). Конференсияи IV илмӣ байналмилалӣ: «Масъалаҳои кимиёи физикӣ ва координатсионӣ» бахшида ба гиромидошти хотираи докторони илмҳои кимиё, профессорон Ҳомид Муҳсинович Якубов ва Зухуриддин Нуриддинович Юсуфов (Душанбе, 2019). Конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалии «Саноатикунонӣ – омили тараққиёти иқтисодиёти ҷумҳурӣ» (Хуҷанд, 2020). Конференсияи X илмӣ-амалии «Ҳонишҳои Ломоносовӣ» (Душанбе, 2020). Конференсияи байналмилалии илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Проблемаҳои муосири саноати металлургӣ» бахшида ба эълон гардидани ҳадафи чоруми миллӣ – саноатикунони босуръати кишвар ва 25-солагии таъсисёбии кафедраи «Металлургия» (Душанбе, 2021).

**Наири натиҷаҳои рисола.** Аз натиҷаи тадқиқот 17 кор, аз он ҷумла 6 мақола дар маҷалаҳои тақризшавандаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон – «Вестник СПГУТД», «Вестник ПНИПУ, Машиностроение, материаловедение», «Паёми политехникӣ. Бахши Тадқиқоти муҳандисӣ» ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, «Паёми ДТТ» чоп карда шудааст.

**Ҳаҷм ва таркиби рисола.** Рисола аз муқаддима, шарҳи адабиёт, 4 боб, хулосаҳо, рӯйхати адабиёт ва замима иборат мебошад. Рисола дар 181 саҳифаи ҳуруфчинии компютерӣ баён гардида, 56 ҷадвал, 77 расмро дарбар мегирад. Рӯйхати адабиёт 138 номгӯйро фаро гирифтааст.

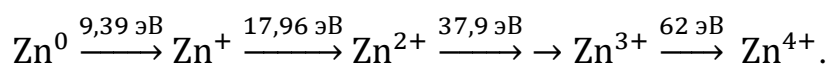
## БОБИ 1. ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКИЮ ХИМИЯВИИ РҶҲ ВА ХҶЛАҲОИ ОН (шарҳи адабиёт)

### 1.1. Хосиятҳои асосӣ ва соҳаҳои истифодашавии рӯҳ ва хӯлаҳои он

Дар замони ҳозира амалан дар ҳама кишварҳои тараққиқардаи саноати камчини калон нисбат ба металҳои ранга эҳсос карда мешавад. Бинобар ҳамин муносибати боасоси илмӣ оид ба интиҳоб ва истифодаи оқилонаи металҳо, аз он ҷумла нисбат ба рӯҳ ва пайвастагиҳои он зарур мебошад.

Нисбатан тасаввуроти умумӣ оид ба хосиятҳои рӯҳ ва тағйироти имконпазири ин хосиятҳо кашфи Д.И. Менделеев қонуни бунёди ба ҳисоб меравад, ки тағйирёбии даврии хосиятҳои химиявии элементҳоро муқаррар менамояд. Мувофиқ ба ин қонун хосиятҳои элементҳо ва металҳо, ҷунонҷӣ бо таркиби электронии атомҳо муайян карда мешаванд [5, 6], маҳз бо бузургии заряди ядроӣ атомҳое, ки ҳар як метал дар системаи даврӣ ишғол менамоянд, боис гардидааст.

Тақсими элементҳо ба металҳо ва ғайриметалҳо шартӣ мебошад. Бо вучуди ин бояд қайд намуд, ки хосиятҳои металлӣ бо баланд шудани вазни атом ва зиёдшавии шумораи пардаи электронҳо меафзоянд. Мувофиқ ба сохтори электронӣ ( $1s^2 2s^2 2p^6 3p^6 3d^{10} 4s^2$ ) рӯҳ метали махсус ба ҳисоб меравад, ки дар зергурӯҳи ғайриасосии дуюм гурӯҳ дар системаи элементҳо қарор дорад. Вай дараҷаи оксидшавии +2 дорад, яъне дар пайвастагиҳои химиявӣ иони дувалента ба ҳисоб меравад. Ин бо он алоқаманд мебошад, ки барои ҷудо кардани электрони сеюм энергияи зиёд зарур аст:



Валентнокии доимии рӯҳ, ки ба ду баробар мебошад, ҷӣ тавре дида мешавад, бо пуркунии максималии d-қабат ва бо бузургии баланди потенциали иондор шудан боис гардидааст:  $\text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{3+}$  [5, 6].

Мутобиқ ба тасаввуроти муосир, раванди иондор шудани метал марҳалавӣ мегузарад: суръатҳои кандашавии электрон дар ҳар як марҳала метавонанд яхела набошанд. Ҳангоми ҳалшавии рӯҳ дар электролитҳо

(масалан, ҳангоми зангзанӣ дар маҳлулҳои обӣ), агар бузургҳои дар боло зикршудаи энергияи иондор шудан ба инобат гирифта шавад, аввал ба назар расидани иони яквалентаи  $r\bar{u}x$ , сипас дувалентаро мунтазир шудан мумкин аст. Бо роҳи таҷрибавӣ бошад, танҳо  $Zn^{2+}$ -ро муайян кардан мумкин аст. Хосиятҳои нишондодашуда, инчунин хосиятҳои физикии дар зер овардашудаи  $r\bar{u}x$  онро ба элементҳои ногузар шабех додан имконият медиҳанд [5,6].

Бо мавқеи  $r\bar{u}x$  дар системаи элементҳои даврӣ, ки сараввал аз рӯйи вазни атомии он муайян карда шудааст ва ба 65,37 баробар мебошад, як қатор хосиятҳои танҳо ба он хос – физикӣ ва химиявӣ боис гардидааст, ки оид ба онҳо дар зер сухан меравад.

**Соҳаҳои истифодабарии  $r\bar{u}x$  ва хӯлаҳои он.** Бештар паҳнгардии васеъро  $r\bar{u}x$  ба сифати рӯйпӯш барои нигоҳдорӣ аз зангзании оҳан ва хӯлаҳо дар асоси он (пӯлодҳо) ба даст овардааст. Барои ин мақсад то 50% -и  $r\bar{u}x$  ба даст овардашавандаи саноатӣ харҷ мегардад. Рӯҳандуд – рӯйпӯш намудани сатҳи маснуоти металлӣ бо  $r\bar{u}x$  ё хӯлаҳои он – барои муҳофизат аз зангзании варақаҳои пӯлодӣ, симҳо, тасмаҳо, чузъҳои васлқунӣ, чузъҳои мошин ва асбобҳо, арматура ва қубургузарҳо истифода бурда мешавад. Чузъҳо аз хӯлаҳои  $r\bar{u}x$  ба қадри кифоя дар замони мо низ паҳн гаштаанд. Новобаста аз он ки пластик маснуоти металлро аз байн бурда истодааст, дар баъзе ҳолатҳо зарурати истифодаи онҳо мавҷуд мебошад. Масалан, автомобилсозӣ соҳаест, ки дар он зарурати истифодаи хӯлаҳои  $r\bar{u}x$  баланд мебошад. Обполоҳо, таҳшинҳо, танҳои карбюраторҳо ва бензонасосҳо, чилдҳои рӯйичархӣ, садонишонакҳо – ҳамаи ин ва бисёр дигарон бо ёрии пайвастигии ин элементи химиявӣ тайёр карда мешаванд [7].

Бо шарофати он ки хӯлаҳои  $r\bar{u}x$  хосиятҳои хуби рехтагарӣ доранд, аз онҳо чузъҳои мураккаб бо шаклҳои гуногун ва камтарин ғафсии деворҳо мерезанд. Сохтмон боз як соҳае мебошад, ки бе истифодаи ин хӯлаҳо илҷ нест. Прокати  $r\bar{u}x$ иро барои рӯйпӯши бомҳо, тайёр кардани қубурҳо ва новадонҳои обпарто истифода мебаранд. Новобаста ба он ки ғарази паст

фаровардани истеҳсоли хӯлаҳои рӯҳӣ мавҷуд мебошад, даст кашидан аз истеҳсоли онҳо бинобар нисбатан арзиши паст ва хосиятҳои механикии баланди масолеҳ доштан имконияти тасаввур кардан нест [7].

Хӯлаҳо бо металлҳои гуногун: бо мис, бо магний, бо алюминий, бо никел бо осонӣ лаҳим ва кафшер мешаванд, нибатан ҳарорати пасти гудозиш доранд ва беҳтар қолибҳоро пур мекунанд. Ҳар яки ин металлҳо ба таври худ ба хосияти хӯла таъсир мерасонанд ва дар соҳаҳои гуногуни саноат истифода бурда мешаванд [7].

Аз рӯйи таъйиноти худ хӯлаҳои рӯҳӣ ба намудҳои зерин тақсим мешаванд:

1. *Дар зери фишор коркардашаванда.* Тахминан 15% аз алюминий, 5% аз мис ва камтар 1% аз магний иборатанд, аз рӯйи хосиятҳои худ ба латун шабеҳанд, бо ёрии пуркунанда ё рехтагарии ним пай дар пай бо ҳосилкунии минбаъдаи масолеҳи варақӣ ё миллашакл тайёр карда мешаванд;

2. *Рехтагарӣ.* Бо дар металл илова кардани на зиёда аз 3,5-4% мис ва алюминий ва миқдори кам (тахминан 0,05%)-и магний ҳосил карда мешаванд, бо ҷоришавии хуб фарқ мекунанд ва бо масолеҳи қолиби рехтагарӣ таъсири мутақобил надоранд, бо ёрии рехтагарӣ дар зери фишор ё рехтагарӣ дар қолибҳо тайёр карда мешаванд;

3. *Антифриксионӣ.* Ин хӯлаҳо зиёда аз 10% алюминий, қариб 5% мис ва камтар аз 0,1% магний доранд, истифодашавии васеъро барои тайёр кардани подшипникҳо бо шарофати коэффитсиенти соиши паст доштан доро гаштаанд, бо ёрии рехтагарӣ дар зери фишор тайёр карда мешаванд;

4. *Лаҳимҳо.* Барои лаҳим кардани хӯлаҳои алюминий истифода бурда мешаванд. Вобаста аз тамға метавонанд ба худ алюминий, мис, кадмий, нукра, сурб ва дигар металлҳоро дар бар гиранд, вале ба таъсири зангзанӣ дучор мегарданд;

5. *Матбаагӣ.* То 7,5% алюминий, камтар аз 2 % магний ва то 4,5 % мисро дар бар мегиранд, бо мустаҳкамӣ фарқ мекунанд ва хуб дар қолибҳо рехта мешаванд, барои рехтани ҳарфҳои матбаагӣ истифода бурда мешаванд;

6. *Протекторӣ*. Камтар аз 1% алюминий ва миқдори ночизи магний ё кремний доранд, ба зангзанӣ дар муҳити намнок хуб муқовимат нишон медиҳанд, ба сифати металҳои муҳофизатӣ дар бисёр соҳаҳои саноат истифода бурда мешаванд.

Миёни хӯлаҳои паҳнғашта ва маъмули рӯҳ:

1. *Латун*. Хӯлаи рӯҳ бо мис. Мис - компоненти асосӣ. Вобаста аз миқдори мис латунҳои сабз, зард ва тиллорангро фарқ мекунанд. Ҳангоми ҳарорати зиёдтар аз 300°C латун метавонад шаклашро тағйир диҳад. Инчунин латунҳои бисёркомпонента мавҷуд мебошанд, онҳо бо илова кардани як қатор металҳои дигар ба таркиби хӯла ба даст оварда мешаванд.

2. *РАМ (ЦАМ)*. Хӯлаи рӯҳ, алюминий ва мис бо миқдори ками магний. Онҳо ҳарорати пасти гудозиш доранд, хуб рехта мешаванд ва аз онҳо нисбатан маснуоти мустаҳкам ҳосил кардан мумкин аст.

Дар саноат истифода бурдани гурӯҳи хӯлаҳои мис-рӯҳӣ бо иловаи магний ва алюминий бо аббревиатураи РАМ ишора карда мешавад. Онҳо дар ҳарорати нисбатан на он қадар баланд гудохта мешаванд, пас, хуб дар қолибҳо рехта мешаванд.

Маснуоте, ки аз гурӯҳи хӯлаҳои РАМ ҳосил карда мешавад, як миқдор мустаҳкамтар ҳосил мегарданд. Вирениум - хӯлаи мис бо рӯҳ бо иловаи на он қадар зиёди никел.

Хӯлаҳои дар зерии фишор коркардашавандаи рӯҳ бо иловаи алюминий, мис ва магний хосиятҳои хуби механикӣ доранд, лекин зуд ба зангзанӣ дучор мегарданд. Онҳо ба сифати хӯлаҳои матбаагӣ барои реختани ҳарфҳо истифода бурда мешаванд [7].

Хӯлаҳои рӯҳӣ барои рехтагарӣ, хусусан дар зерии фишор, хосиятҳои хуби технологиро бинобар зудгудоз ва моеъчоришавии хуб доштан доро гаштаанд. Чӣ тавре алақай дар боло қайд гардид, камбудии асосии хӯлаҳои рӯҳӣ ин зангзаниӣ бо шиддат ба ҳисоб меравад, инчунин қобилияти андозаҳоро бо гузашти вақт дар натиҷаи пароканиши маҳлули саҳти мис ва алюминий дар рӯҳ тағйир додан мебошад.

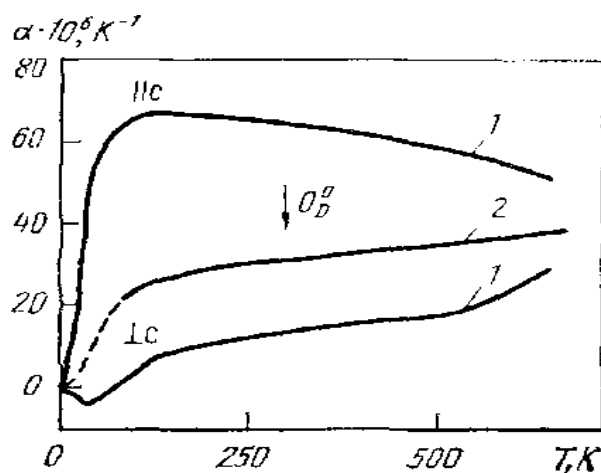


Ҳангоми тайёр кардани хӯлаҳои рӯҳӣ бояд миқдори сурб то ба камтарин расонида шавад, чунки сурб зангзанӣ ва тағйирёбии ҳаҷмиро зуд пурзӯртар менамояд. Магний бошад, дар миқдорҳои ночиз истодагариҳои хӯлаҳои рӯҳиро ба зангзанӣ пурзӯр мегардонад [7].

## 1.2. Хосиятҳои физикаи гармои рӯҳ, алюминий, титан, сирконий ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ

*Хосиятҳои физикаи гармои рӯҳ.* Ҳангоми фишори муътадил то  $T_{гш} = 692,73\text{K}$  рӯҳ сохти панҷараи шашкунҷаи бастабандишуда п.ш.б. (гексагональная плотноупакованная решетка (г.п.у.)) бо фосилаҳои зери  $298\text{K}$  дорад:  $a = 0,26649\text{ нм}$  ва  $c = 0,49468\text{ нм}$  (таносуби  $c/a - 1,856$  баландтар барои панҷараи п.ш.б. бузургӣ, ки баробар аст ба  $1,633$ , ба назар менамояд) [8, 9]. Нисбатан қорҳои дертар [8, 10] қиматҳои зерин медиҳанд:  $a = 0,26635\text{ нм}$  ва  $c = 0,36351\text{ нм}$  ҳангоми  $273\text{K}$ .

Рӯҳ ба анизотропияи аслии васеъшавии ҳароратии ҳаттӣ доро мебошад (расми 1.1).



Расми 1.1. Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти васеъшавии ҳаттӣ,  $\alpha$  рӯҳ [8, 15]

Вобастагии ҳароратии зичии рӯҳ, ки бо роҳи ҳисобӣ ба даст омадааст, дар ҷадвали 1.1 оварда шудааст. Сохти сатҳи Фермии рӯҳ ба қадри кифоя хуб

омӯхта шудааст, дар асоси он сатҳи Ферми барои электронҳои озод дар п.ш.б. метали дувалента меҳобад, гарчанде тамоюли алоқаи параметрҳои панҷара аз мазмуни бисёр хуб, инчунин таъсири мутақобилаи спин-орбиталӣ ба баъзан хусусиятҳои нави намоён [8, 11, 12].

Вобастагии гармиғунҷоиши нисбии рӯҳ аз ҳарорат барои металлҳои оддӣ махсус ба ҳисоб меравад. Баландтар аз ҳарорати Дебай гармиғунҷоиш аз ҳароратҳо суст вобаста мебошад, як миқдор асосан аз ҳисоби ҳиссаҳои ангармонӣ меафзояд. Коэффициенти гармиғунҷоиши электрони рӯҳ  $\gamma_e=0,633 \text{ мҶ}/(\text{моль}\cdot\text{K}^2)$  [7, 10].

**Ҷадвали 1.1** - Хосиятҳои физикаи гармои рӯҳ [7-15]

T, K	d, г/см <sup>3</sup>	C <sub>p</sub> , Ҷ/(кг·K)	$a\cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/(м·K)	$\rho\cdot 10^8$ , Ом·м
50	-	-	-	-	-
100	7,26	-	55,0	-	0,25
200	7,19	-	44,8	-	4,0
300	7,13	389,0	41,6	115	6,0
400	7,06	402,6	38,9	110	8,0
500	7,00	417,6	36,5	108	10,5
600	6,94	436,1	34,1	103	13,0
692,73 <sub>s</sub>	6,92	452,7	32,0	100	16,0
692,73 <sub>1</sub>	-	480,3	-	-	-
800	-	480,3	15,8	55	37,5
1000	6,57	480,3	-	67	-

Гармигузарони рӯҳ дар ҳолати сахтӣ коэффициенти ҳароратии манфӣ дорад, мусбӣ – дар ҳолати моеъгӣ ва тавсифи электрониро доро мебошад. Ин ҳолат, компоненти электронӣ дар ҳудудҳои 10-15% умумӣ дар доираи қонуни стандартӣ мувофиқат менамояд. Ҳатогии қиматҳо бо 3% дар ҳарорати ҳонагӣ баҳо дода мешавад ва то 10-15% ҳангоми баланд шудани ҳароратҳо меафзояд. Мавҷуд набудани маълумот оид ба анизотропияи гармигузаронӣ ба тавсифи пешакии маълумоти мавҷудбуда ишорат менамояд [7, 14].

**Хосиятҳои физикаи гармои алюминий.** Наздик ба ҳарорати гудозиш ва ҳангоми фишори стандартӣ алюминий таркиби панҷараи мукааби рӯйи марказӣ п.м.р.м. (гранецентрированная кубическая решетка (г.ц.к.)) дорад [8-10].

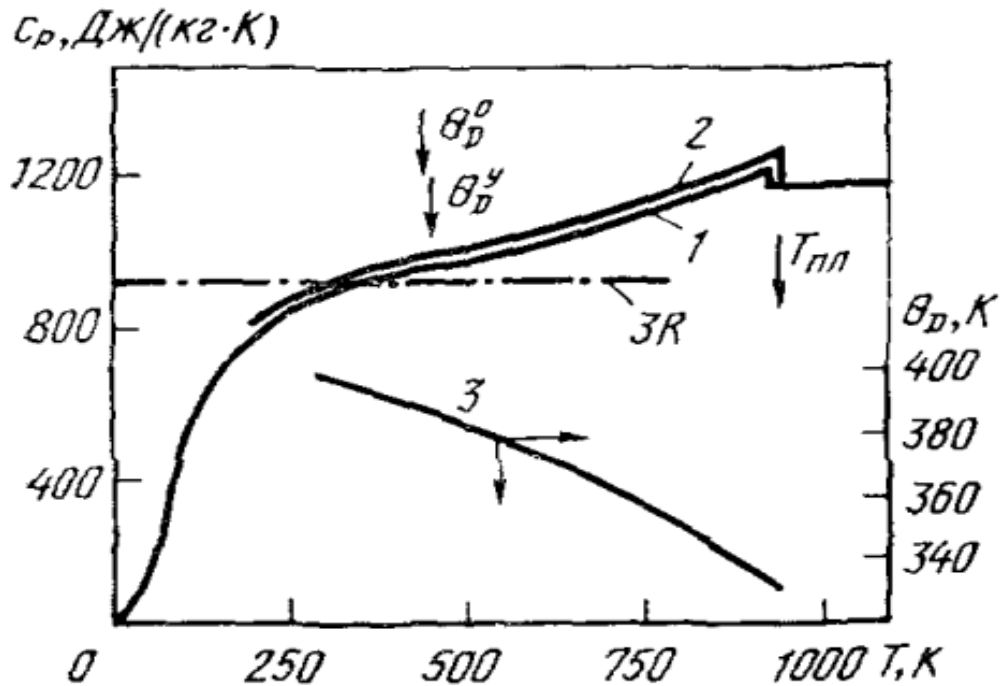
Дар расми 1.2 ва дар ҷадвали 1.2 маълумот оид ба гармиғунҷоиши алюминий пешкаш гардидаанд [8, 10]. Дар минтақаҳои  $\theta_D^0$  бузургии классикии  $3R$  -ро бурида гузашта, гармиғунҷоиш бо наздик шудани ҳарорат дар нуқтаи гудозиш меафзояд, сипас ҷаҳиши баназаррасандаи паст ва  $C_p^{жс}/3R - 1,23$  мушоҳида мегардад. Коэффитсиенти гармиғунҷоиши электрони алюминий  $\gamma_e = 1,35$  мҶ/(моль-К<sup>2</sup>) баробар аст [8].

**Ҷадвали 1.2** - Хосиятҳои физикаи гармои алюминий [8, 10-15]

T, K	d г/см <sup>3</sup>	C <sub>p</sub> , Ҷ/(кг·К)	$\alpha \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ Вт(м·К)	$\rho \cdot 10^8$ , Ом·м	L/L <sub>0</sub>
50	-	-483,6	358	1350	0,0478/0,0476	-
100	2,725	800,2	228	300,4/302	0,442/0,440	-
200	2,715	903,7	109	236,8/237	1,587/1,584	0,77
300	2,697	951,3	93,8	235,9/237	2,733/2,733	0,88
400	2,6	991,8	93,6	238,2/240	3,866/3,875	0,94
500	2,665	1036,7	88,8	234,7/236	4,995/5,020	0,96
600	2,652	1090,2	83,7	230,1/230	6,130/6,122	0,95
700	2,626	1153,8	78,4	224,4/225	7,350/7,322	0,96
800	2,560	1228,2	73,6	220,4/218	8,700/8,614	0,97
900	2,550	1153,8	69,2	217,6/210	10,18/10,005	0,99
910	2,368	1228,2	68,0	217,7/208	10,74 <sup>*3</sup> /10,565	1,06
933	2,350	1255,8	35,2	98,1-	-24,77-25,88	1,06
1000	2,290	1176,7	36,4	100,6-	-28,95	1,04
1100	-	1176,7	39,5	106,4-	-31,77	-
1200	-	1176,7	42,4	-	-34,40	-
1400	-	1176,7	44,8	-	-36,93	-

Натиҷаҳои дар ҷадвали 1.2 овардашуда [8, 10-15] бояд ба алюминийи тозагиаш 99,999% марбут бошанд, ки бо ҳатогии ба 1% пастар аз 400 К, 2% дар фосилаи 400 К- $T_{\text{гш}}$  ва 3% – ҳолати моеъгии металл тавсиф гардидаанд.

Ҳароратгузаронии алюминий бо бузургҳои баланди мутлақ тавсиф меёбанд ва коэффитсиенти ҳароратии манфӣ баландар аз 150 К доранд ва ба таври муносиб мусбӣ дар фазаҳои сахт ва моеъ мебошанд [8, 11, 12].

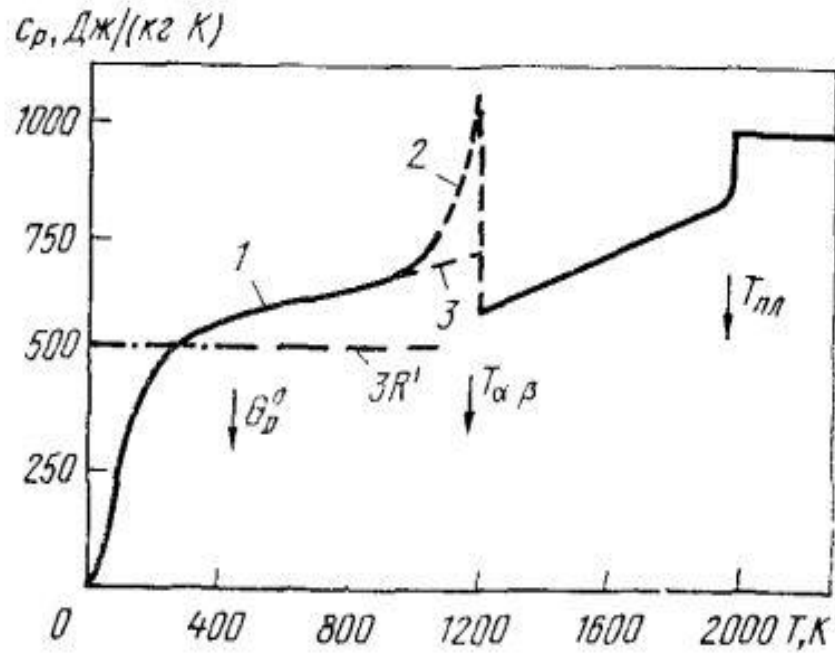


Расми 1.2. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии ( $C_p$ ) алюминий:

1 – [17], 2 – [18], 3 – маълумот [13] аз ҳарорати Дебай ( $\theta_D$ ).

**Ҳосиятҳои физикаии гармоӣ титан.** Титан то 1155 К панҷараи таркибаш п.ш.б. (г. п. у.) бо марҳилаҳои ҳангоми 298 К дорад:  $a = 0,29511$  нм,  $c = 0,46843$  нм. Баландар аз  $T_{\alpha-\beta} = 1155$  К будан вай таркиби панҷараи м.м.х. (объемно-центрированный кубический (о. ц. к.)) бо фосилаҳои,  $a = 0,33065$  нм ҳангоми 1173 К;  $T_{\text{гш}} = 1944$  К -ро доро мебошад [19, 20, 25].

Дар расми 1.3 вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши титан мутобиқ ба маълумоти сарчашмаҳои гуногун тасвир ёфтааст.



Расми 1.3. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии ( $C_p$ ) титан [26-30].

Дар чадвали 1.3 қиматҳои зичии титан ҳангоми ҳароратҳои баланд пешкаш гардидаанд, ки аз тарафи мо бо роҳи ҳисобӣ дар асосҳои маълумот оид ба васеъшавии ҳароратӣ аз шарҳҳо [31, 70] ва зичӣ дар ҳарорати ҳонагӣ ба даст оварда шудаанд.

**Чадвали 1.3** - Хосиятҳои физикаии гармои титан [26- 30]

T, K	d, г/см <sup>3</sup>	C <sub>p</sub> , Ц/(кг·К)	α·10 <sup>6</sup> , м <sup>2</sup> /с	λ, Вт/(м·К)	ρ·10 <sup>3</sup> , Ом·м			(L/L <sub>0</sub> ) <sub>cp</sub>
					ρ <sub>cp</sub>	ρ <sub>  </sub>	ρ <sub>⊥</sub>	
100	-	-	-	-	8,3	-	-	-
200	-	-	-	-	26,6	-	-	-
300	4,50	530,8	9,3	22,3	48,3	51,1	46,9	1,36
400	4,49	555,5	8,3	20,7	63,2	70,1	62,5	1,34
500	4,47	576,2	7,6	19,7	81,5	89,3	78,3	1,32
600	4,46	604,7	7,3	19,7	99,3	108,8	94,3	1,32

## Давоми ҷадвали 1.3

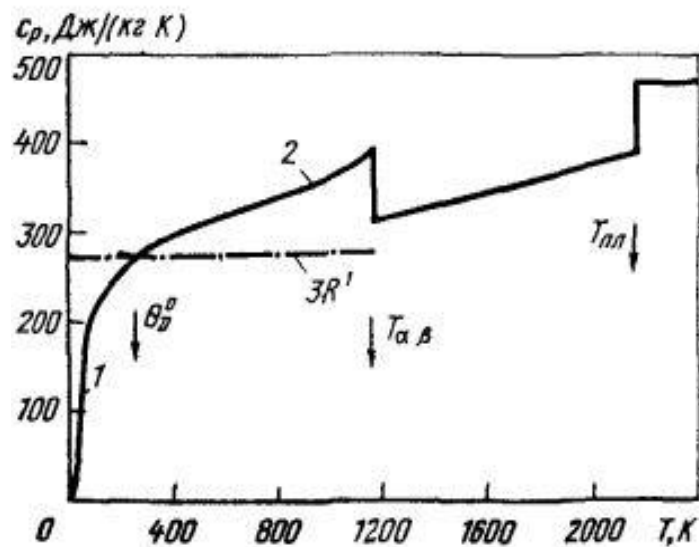
700	4,45	626,8	7,1	19,8	116,1	125,9	109,0	1,32
800	4,43	637,0	7,0	19,8	131,2	140,5	124,2	1,32
900	4,42	647,8	6,9	19,8	143,0	152,1	137,3	1,28
1000	4,40	646,9* <sup>1</sup>	6,9	19,6	152,1	157,5	147,5	1,21
1156 <sub>α</sub>	4,37	666,9* <sup>1</sup>	6,9	20,1	161,5	-	-	1,15
1156 <sub>β</sub>	4,38	617,5* <sup>1</sup>	7,8	20,0	146,3	-	-	1,05
1200	4,37	633,9* <sup>1</sup>	7,9	21,9	147	-	-	1,10
1400	4,35	663,7	8,3	23,9	151	-	-	1,1
1600	4,32	729,1	8,8	27,7	156	-	-	1,1
1800	4,29	799,8	9,0	30,9	160	-	-	1,1
1944 <sub>s</sub>	4,26	854,1	9,1	33,1	164	-	-	
1944 <sub>t</sub>	4,12	989,2	-	-	168	-	-	-
2000	-	989,2	-	-	170	-	-	-

**Хосиятҳои физикаии гармои сирконий.** Поёнтар аз ҳарорати 1135 К сирконий панҷараи таркибаш п.ш.б. (г. п. у.) –ро бо фосилаҳои ҳангоми ҳарорати 298 К доро мебошад:  $a = 0,32312$  нм ва  $c = 0,51477$  нм [20], баландтар бошад, таркиби панҷараи м.м.х. бо фосилаи,  $a = 0,36090$  нм дар наздикии  $\alpha$ - $\beta$ -гузариш доро аст [32]. Дар ҷадвали 1.4 ва расми 1.4 маълумот оид ба гармигунҷоиши сирконий пешкаш гардидаанд [19, 22].

**Ҷадвали 1.4** - Хосиятҳои физикаии гармои сирконий [19, 33, 22, 13, 34]

T, K	$d$ , г/см <sup>3</sup>	$C_p$ , Ҷ/(кг·К)	$\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$\rho \cdot 10^3$ , Ом·м		$(L/L_0)_{cp}$
					[323]	[323]	
100	-	-	-	-	9,79	9,78	-
200	-	-	14,1	-	26,35	26,33	-
300	6,47	278,8	12,7	16,9	43,3	43,3	1,36
400	6,46	295,3	11,5	21,9	60,3	60,3	1,35-

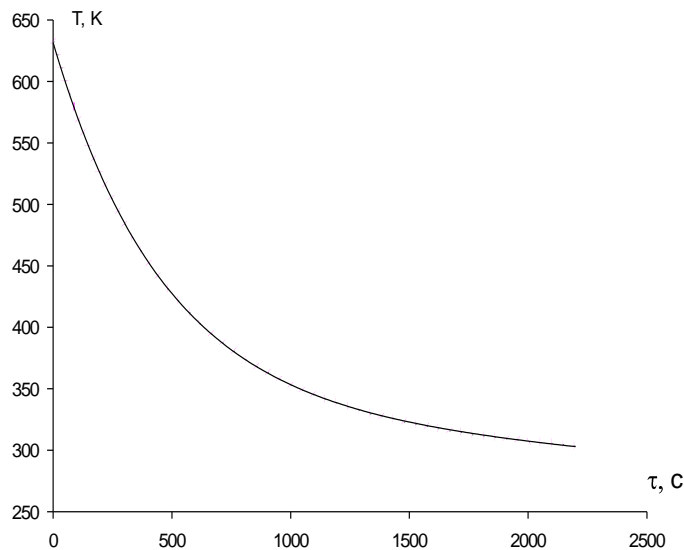
500	6,45	308,8	10,7	21,4	76,3	76,6	1,34
600	6,43	321,2	10,2	21,1	91,5	91,7	1,31
700	6,42	333,0	10,0	21,4	104,2	104,5	1,29
800	6,40	344,5	10,0	22,1	114,9	115,3	1,27
900	6,39	355,9	10,0	22,7	123,1	123,6	1,25
1000	6,37	367,1	9,8	22,9	128,8	129,4	1,18
1136 <sub>α</sub>	6,36	382,7	9,7	23,6	132,6	133,4	1,2a
1136 <sub>β</sub>	-	311,9	-	-	110,8	111,3	-
1200	-	313,7	13,2	27,0	112,2	112,8	1,0
1400	-	324,9	14,2	30,0	114,5	117,3	1
1600	-	341,0	14,7	34	120,4	121,5	1
1800	-	360,0	14,9	36	124,0	125,4	1
2000	-	380,7	14,6	38	127,5	129,3	1
2133 <sub>s</sub>	-	392,2	14,3	-	129,5	131,1	-
2133 <sub>l</sub>	-	467,0	15,5	42	-	141,3	-
2200	-	467,0	--	-	-	-	-



Расми 1.4. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии ( $C_p$ ) сирконий: 1-[22], 2-[19].

Маълум мешавад, ки рафтори он барои титан мисли ҳамин гуна буда, дар баробари ин  $\beta$ -фаза бо гармиғунҷоиши паст нисбат ба гармиғунҷоиши  $\alpha$ -фаза ва дар ҳолати моеъгӣ тавсиф меёбад, дар ҳарорати баландар аз  $T_{\text{гш}} C_p$  қариб ба 1,5 маротиба бузургии  $3R$  –ро меафзоёнад. Қайд менамоем, ки наздик ба  $T_{\alpha-\beta}$  афзудашавии  $\lambda$ -монанд ба назар намерасад, танҳо фақат чаҳиши  $C_p$  ҷой дораду халос. Коэффитсиенти гармиғунҷоиши электрони сирконий  $\lambda_e - 2,78 \text{ мҶ}/(\text{мол}\cdot\text{К}^2)$  баробар аст [22].

**Натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии рӯҳ ва алюминий.** Аз тарафи муаллифон [35, 36] тариқи таҷрибавӣ вобастагии ҳарорати намунаҳо аз вақти хунукшавӣ барои рӯҳӣ тамғаи Ц1 ва алюминийи тамғаи А7 ба даст оварда шудаанд, ки дар расмҳои 1.5 ва 1.6 пешниҳод гардидаанд. Муодилае, ки қачхатаҳои хунукшавиро тавсиф менамоянд, дар зери навиштаҷоти расмҳо оварда шудаанд. Ин ҳангом хатогӣ аз 1% зиёдтарро ташкил намедихад.



Расми 1.5. Вобастагии вақти хунукшавӣ аз ҳарорат барои рӯҳ (нукта,

таҷриба, хати яқлухт бо ифодаи зерин ҳисоб карда шудаанд:

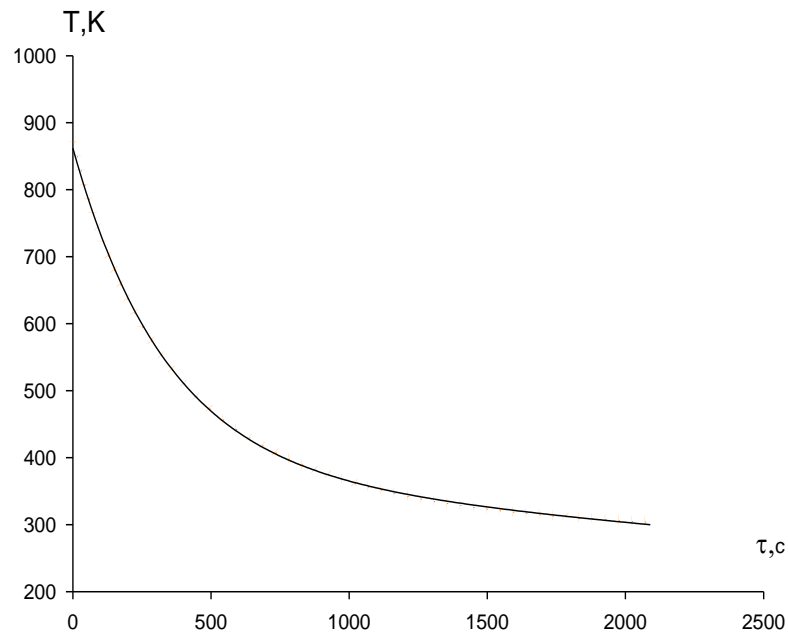
$$T = 294.3630 \exp(-0.0022 \tau) + 337.2707 \exp(-5.2544 \cdot 10^{-5} \tau) \quad [35, 36].$$

Аз тарафи мо муодилаи тағйирёбии гармиғунҷоиши нисбӣ аз ҳарорат барои алюминий дар фосилаи ҳароратии 293-873 К (1.1) ва барои рӯҳ дар 293-693 К (1.2), ба даст оварда шудаанд, ки шакли зерин доранд:



$$C_p^{Al} = 699.84 + 96.02 \cdot 10^{-2}T - 12 \cdot 10^{-4}T^2 + 0.864 \cdot 10^{-6}T^3. \quad (1.1)$$

$$C_p^{Zn} = 325.44 + 36.9 \cdot 10^{-2}T - 7 \cdot 10^{-4}T^2 + 0.76 \cdot 10^{-6}T^3. \quad (1.2)$$



Расми 1.6. Вобастагии вақти хунукшавӣ аз ҳарорат барои алюминий (нуқта, таҷриба, хати яклухт бо ифодаи зерин ҳисоб карда шудаанд:

$$T = 477.3270 \exp(-0.0030 \tau) + 384.5595 \exp(-0.0001 \tau) \quad [35, 36].$$

Дар ҷадвалҳои 1.5 ва 1.6 вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии рӯҳӣ тамғаи Ц1 ва алюминийи тамғаи А7 аз рӯйи маълумоти [35, 36] пешниҳод гардидаанд.

**Ҷадвали 1.5** - Вобастагии гармиғунҷоиши нисбӣ аз ҳарорат барои рӯҳи тамғаи Ц1 [35, 36]

$T, K$	$C_v,$ Ҷ/(кг·К)	$C_{\bar{e}},$ Ҷ/(кг·К)	$\Delta C = C_p - C_v,$ Ҷ/(кг·К)	$C_v + C_{\bar{e}} + \Delta C,$ Ҷ/(кг·К)	$C_{p \text{ экс.}},$ Ҷ/(кг·К)	$C_{p \text{ экс.}} - C_p,$ Ҷ/(кг·К)
608.57	379.04	6.27	25.156	410.47	442	31.53
532.50	378.34	5.48	18.190	401.92	424	22.08
473.33	377.54	4.87	15.633	398.04	412	13.96
426.00	376.64	4.39	13.829	394.86	405	10.14
387.27	375.66	4.00	12.386	392.05	399	6.95

## Давоми ҷадвали 1.5

355.00	374.59	3.35	11.268	389.51	396	6.49
327.69	373.43	3.37	10.297	387.1	392	4.9
304.28	372.19	3.13	9.488	384.81	389	4.19
284.00	370.85	2.92	8.768	382.54	385	2.46

Барои мис, алюминий ва рӯҳ вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш баланд аз ҳарорати Дебай буда, бо чунин муодила тавсиф мегардад [14]:

$$C_p = A + B\beta T + C\gamma_e T + \frac{D}{T^2} \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) + C_t + C_m. \quad (1.3)$$

Аз рӯйи маълумоти [36] ҳангоми муқоиса кардани муодилаи (1.3) бо маълумоти таҷрибавии ба даст овардашуда чунин далел ба назар мерасад, ки бо гузаришҳои магнитӣ ва таркибӣ ночиз мебошанд.

**Ҷадвали 1.6** - Вобастагии гармиғунҷоиши нисбӣ аз ҳарорат барои алюминийи тамғаи А7 [35, 36]

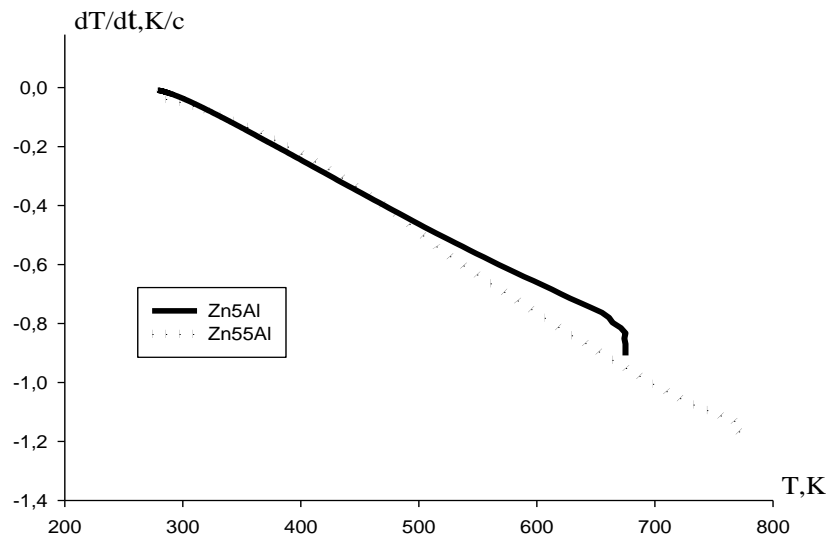
$T, K$	$C_v,$ Ҷ/(кг·К)	$C_{\bar{e}},$ Ҷ/(кг·К)	$\Delta C = C_p - C_v,$ Ҷ/(кг·К)	$C_v + C_{\bar{e}} + \Delta C,$ Ҷ/(кг·К)	$C_{p \text{ экс.}},$ Ҷ/(кг·К)	$C_{p \text{ экс.}} - C_p,$ Ҷ/(кг·К)
857.78	914.71	45.03	157.31	1117.05	1186	68.95
772.00	912.55	40.53	134.04	1087.12	1124	36.88
701.82	910.17	36.84	117.29	1064.30	1081	16.70
643.33	907.58	33.77	104.54	1045.89	1051	5.11
593.85	904.77	31.18	94.39	1030.34	1028	-2.34
551.42	901.75	28.95	86.01	1016.71	1009	-7.71
514.67	898.52	27.02	79.09	1004.63	994	-10.63
482.50	895.09	25.33	73.18	993.60	981	-12.60
454.12	891.46	23.84	68.03	983.33	969	-14.33
428.89	887.63	22.52	63.60	973.75	959	-14.75
406.32	883.61	21.33	59.68	964.62	950	-14.62
386.00	879.40	20.26	56.16	955.82	941	-14.82



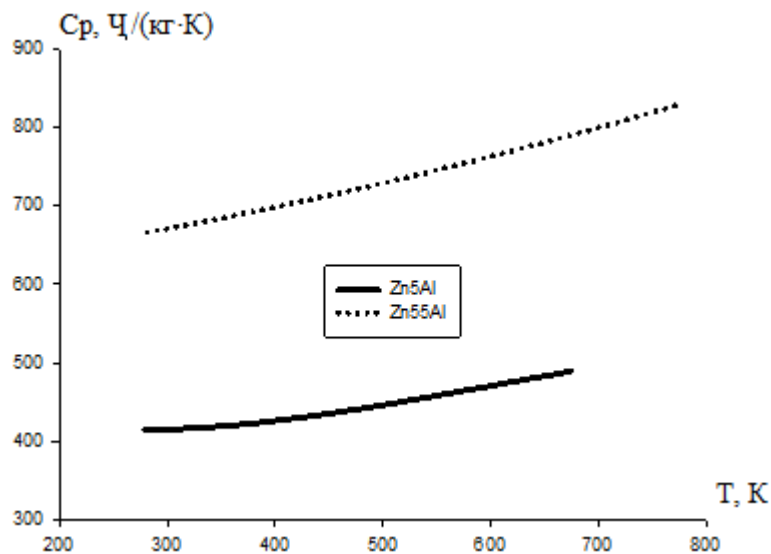
Баъд аз дифференциал ёфтани муодилаи (1.4) аз рӯи  $\tau$  муодилаҳои зерин барои муайян кардани суръати хунукшавии ҳӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ ба даст оварда шуданд, ба таври графикӣ дар расми 1.8 пешниҳод шудаанд [35].

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (1.5)$$

Вобастагии гармиғунҷоиши нисбӣ барои ҳӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al дар расми 1.9 пешкаш гардидаанд [36].



Расми 1.8. Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳо аз ҳӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al.



Расми 1.9. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии ҳӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al: нуқта - таҷриба, хати яқлукт – ҳисоб бо ифодаҳои (1.6, 1.7).

Дар натиҷаи таҷриба, суръати хунукшавии намунаҳоро ба назар гирифта, барои вобастагии ҳароратии гармигунҷоиши нисбӣ ( $\text{Ҷ}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ) дар фосилаи ҳароратҳои 300-600 К барои хӯлаҳои  $\text{Zn5Al}$  ва  $\text{Zn55Al}$  муодилаҳои зерин ба даст оварда шуданд:

$$\text{Zn5Al}: C_p = 484.1771 - 0.5739T + 1.3846 \cdot 10^{-3}T^2 - 7.7432 \cdot 10^{-7}T^3; \quad (1.6)$$

$$\text{Zn55Al}: C_p = 612.9926 + 0.1277T + 2.3465 \cdot 10^{-4}T^2 - 5.1942 \cdot 10^{-8}T^3. \quad (1.7)$$

Аз тарафи муаллифони [36] муодилаҳои зерин барои вобастагиҳои ҳароратии энталпия ( $\text{Ҷ}/\text{мол}$ ), энтропия ( $\text{Ҷ}/\text{мол}\cdot\text{К}$ ) ва энергияи Гиббс ( $\text{Ҷ}/\text{мол}$ ) барои хӯлаҳои  $\text{Zn5Al}$  ва  $\text{Zn55Al}$  ба даст оварда шудаанд, ки ба таври графикӣ дар расмҳои 1.10-1.12 тасвир ёфтаанд:

$$\text{Zn5Al}: H(T) = H(0) + 31.6458T - 0.01875T^2 + 3.0165 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.2652 \cdot 10^{-8}T^4$$

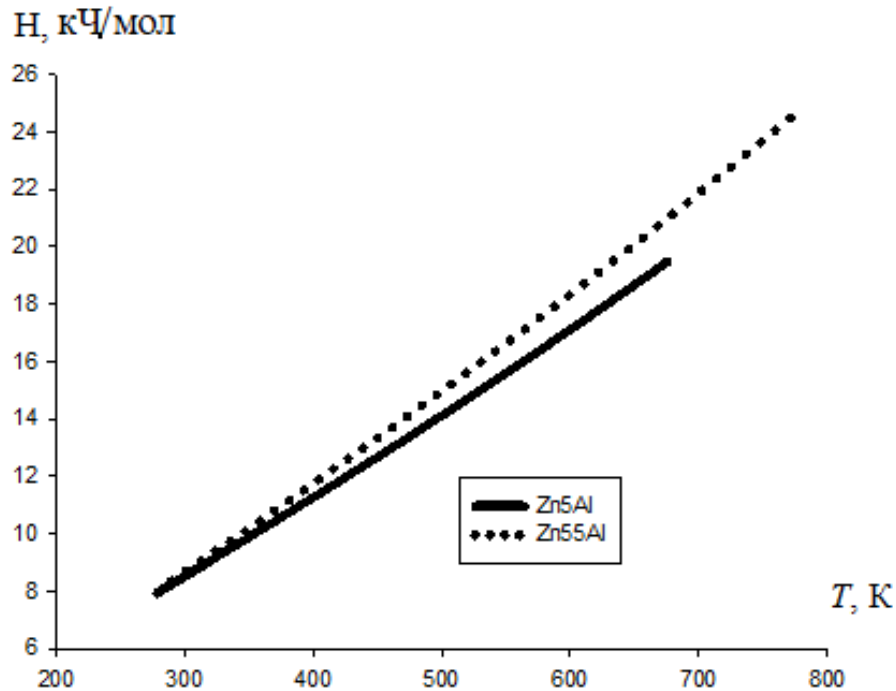
$$\text{Zn55Al}: H(T) = H(0) + 27.6458T - 0.01875T^2 + 3.0165 \cdot 10^{-5}T^3 - 1.2652 \cdot 10^{-9}T^4 \quad (1.8)$$

$$\text{Zn5Al}: S(T) = 31.6458 \ln T - 0.03751T + 4.5248 \cdot 10^{-5}T^2 - 1.6869 \cdot 10^{-8}T^3$$

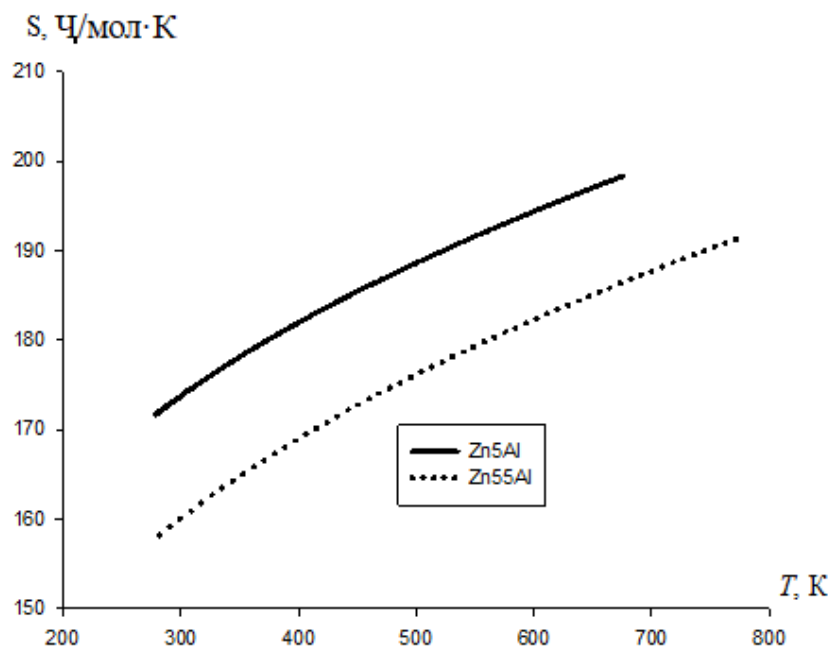
$$\text{Zn55Al}: S(T) = 27.6827 \ln T - 0.0057669T + 5.298 \cdot 10^{-5}T^2 - 7.819 \cdot 10^{-9}T^3 \quad (1.9)$$

$$\text{Zn5Al}: G(T) = -31.6458 \cdot T(\ln T - 1) + 0.01875T^2 - 1.5083 \cdot 10^{-5}T^3 + 4.217 \cdot 10^{-9}T^4$$

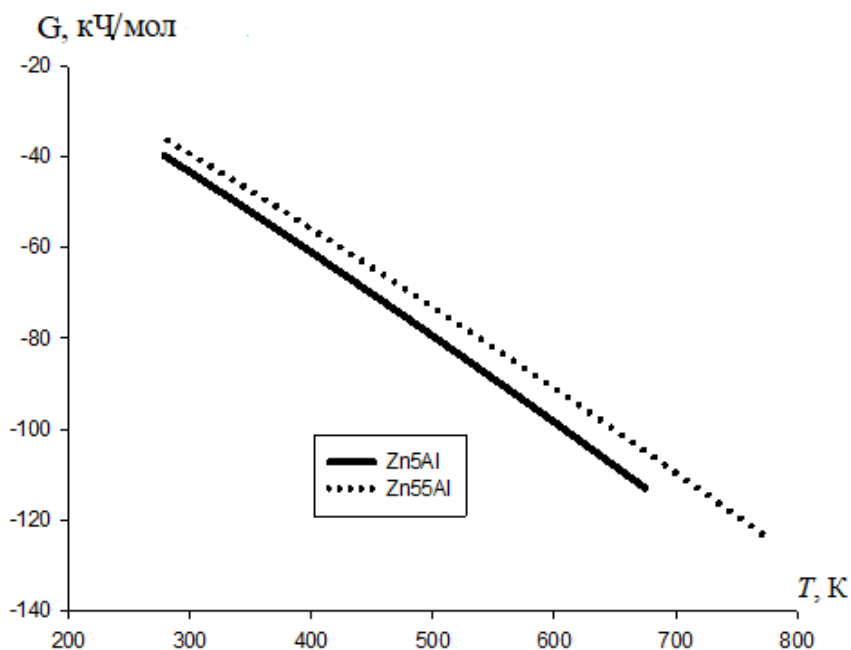
$$\text{Zn55Al}: G(T) = -27.6827T(\ln T - 1) - 0.02883T^2 - 1.766 \cdot 10^{-6}T^3 + 1.955 \cdot 10^{-9}T^4 \quad (1.10)$$



Расми 1.10. Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпияи хӯлаҳои  $\text{Zn5Al}$  ва  $\text{Zn55Al}$ : нукта - таҷриба, хати яқлухт – ҳисоб бо ифодаҳои (1.8).



Расми 1.11. Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энтропия барои ҳулаҳои Zn5Al ва Zn55Al: нуқта - таҷриба, хати яклухт – ҳисоб бо ифодаҳои (1.9).



Расми 1.12. Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энергияи Гиббс барои ҳулаҳои Zn5Al ва Zn55Al: нуқта - таҷриба, хати яклухт – ҳисоб бо ифодаҳои (1.10).

Аз ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи ҳулаҳои Zn5Al ва Zn55Al меафзоянд, бузургии энергияи Гиббс бошад, паст мешавад (расмҳои 1.9-1.12) [36].

### 1.3. Хусусиятҳои оксидшавии рӯҳ ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ

Хӯлаҳои рӯҳ бо алюминий истифодабарии худро дар доираҳои гуногун ҳамчун масолеҳи конструксионӣ, алалхусус, дар авиатсия, автомобилсозӣ, молҳои истеъмоли халқ пайдо намудаанд [37-39].

Оксидшавии хӯлаҳо то андозае механизми нисбат ба металлҳои тоза мураккаб доранд. Дар ин ҷо имконияти ба вучуд омадани ҷӣ оксидҳои содда, ҳамчунин оксидҳои мураккаб аз рӯйи таркиби оксидҳо имконият дорад. Барои хӯлаҳои системаи алюминий-рӯҳ механизм ва кинетикаи оксидшавиро хосиятҳои физикӣ-химиявии ҷӣ рӯҳро, ҳамчунин алюминийро муайян мекунамд, яъне табиати ин элементҳоро, шабоҳати онҳоро ба оксиген ва дараҷаи ғилзат дар хӯла, фишори буғ ва бузургии энергияи ба вучуд омадани оксид ва ҳарорат. Чунончи, барои рӯҳ фишори баланди буғ ва бузургии пасти энергияи ба вучуд омадани оксид дар муқоиса бо алюминий хос мебошад. Ин чунин маъно дорад, ки ҳангоми оксидшавии хӯлаҳои системаи мазкур вобаста аз дараҷаи ғилзати рӯҳ бухоршавии он имконпазир аст ва ба вучуд омадани пардаи оксиди аз ҳудуди метали гудохта, аммо ин ҳангом ба ҳар ҳол баландшавии суръати оксидшавӣ мушоҳида карда мешавад.

Ин далел аз ба вучуд омадани пардаи оксидӣ бо қобилияти пасти муҳофизатӣ гувоҳӣ медиҳад, чунончи маълум аст, ки оксиди алюминий дорои тавсифҳои баланди муҳофизатӣ мебошад (ҷадвали 1.7).

**Ҷадвали 1.7** - Тавсифҳои асосии алюминий, рӯҳ ва оксидҳои онҳо [40]

Металҳо	$t_{гш.}, ^\circ\text{C}$	$t_{қш.}, ^\circ\text{C}$	$\rho_0$ ҳангоми $t_{гш.}, \text{кг/м}^3$	$P, \text{Па}$ ҳангоми 1000 К	$\delta_0, \text{мК/м}$ ҳангоми $t_{гш.}$	$\varphi^\circ, \text{В}$ ҳангоми 25 $^\circ\text{C}$
Al	660	2500	2365	$9 \cdot 10^{-4}$	870	-1.66
Zn	419.5	911	6575	$1.2 \cdot 10^{-4}$	782	-0.76
Оксидҳо	$\Delta H_{298}$ кҶ/мол	$\Delta S_{298}$ Ҷ/(мол·К)	$\Delta G_{1000}$ кҶ/мол	$V_{ок.}/V_{Ме}$		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1674	51.1	-1360.5	1.31		
ZnO	-348.3	43.5	-254.0	1.58		

Мутобиқ ба баъзе тадқиқот, рӯҳ хангоми ҳароратҳои паст гармитобоварии алюминийро баланд мебардорад [40]. Эҳтимол, оксиди рӯҳ бо оксиди алюминий таъсири мутақобил намуда, комплексҳои аз рӯйи таркиб мураккаби навъи шпинелро ба вучуд оварад, ки хосиятҳои нокифояи муҳофизатиро доро нестанд. Охири ин иҷозати озоди оксигенро ба сатҳи таъсиркунӣ имконият медиҳад ва бо ҳамин суръати оксидшавии хӯлаҳоро баланд менамояд. Дар ин ҳол суръати оксидшавӣ тавсифи хаттӣ дорад, вале вай аз дараҷаи ғилзати рӯҳ ва ҳарорат вобаста аст [40].

Аз тарафи муаллифони [41-51] кинетикаи баландҳароратии оксидшавии хӯлаҳои саҳти  $Zn_5Al$  ва  $Zn_{55}Al$ , ки бо металлҳои нодирзаминӣ ва ишқорзаминӣ ҷавҳаронида шудаанд, тадқиқот гузаронида шудааст. Баъзе натиҷаҳои тадқиқоти [44, 45] дар ҷадвали 1.8 ва 1.9 пешниҳод гардидаанд.

**Ҷадвали 1.8** - Вобастагии энергияи фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи саҳти  $Zn_5Al$ , аз миқдори скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий [44, 45]

Ҳарорат, К	Компонентҳои хӯлаи $Zn_5Al$	Энергияи фаъолшавӣ, кҶ/мол					
		Миқдори илова, %-и вазн					
		-	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5
523	-	128.40	-	-	-	-	-
573	Sc	-	169.80	172.10	175.60	167.60	144.60
623	Y	-	144.60	166.00	168.50	139.80	137.70
	Er	-	141.90	148.00	155.30	135.20	120.70
573	-	140.20	-	-	-	-	-
598	Ca	-	96.60	72.20	63.20	36.50	29.00
623	Sr	-	97.20	74.60	64.80	39.80	31.50
	Ba	-	91.90	70.60	61.20	34.80	28.20

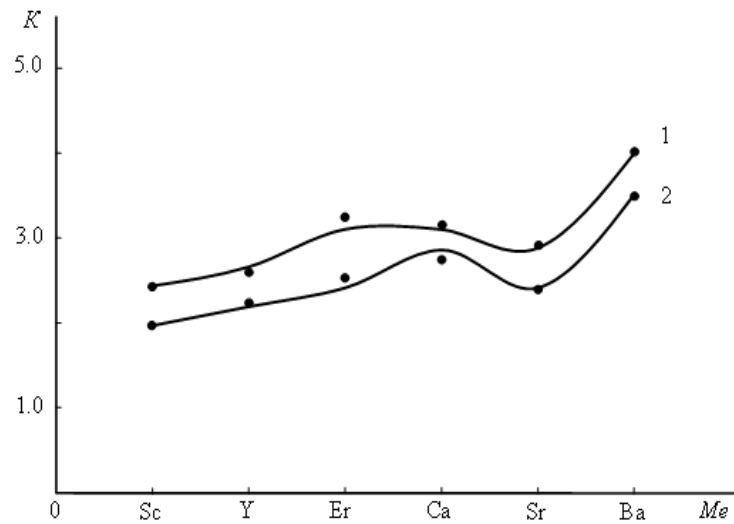
Чӣ тавре мушоҳида мешавад, қимати энергияи фаъолшавӣ аз скандий ба эрбий ва аз калсий ба барий паст мешавад. Чунин вобастагӣ бо бузургҳои



суръати оксидшавии хӯлаҳои тадқиқшудаи тасдиқ шудааст, ки дар расми 1.13 пешниҳод гардидааст. Ҳангоми иловаи МИЗ ва МНЗ <0.5 %-и вазн афзоиши вазни нисбии оксид ва то андозае пасти сарфи энергетикӣ мушоҳида карда мешавад. Раванди таъсири мутақобилаи компонентҳои оксидшавӣ бо хӯла тахминан аз ибтидоӣ раванди оксидшавӣ баъди 25-30 дақиқаҳо ба анҷом мерасад. Аз рӯйи қачхатаҳои кинетикии вобастагии ғайри хаттии  $(g/s)^2-t$  оксидшавии хӯлаҳо баҳо додан, ки дар хатҳои рост намехобанд, ҳамаи қачхатаҳои кинетикӣ намуди гиперболий доранд [34, 35]. Аз тарафи муаллифони [44] қайд карда мешавад, ки раванди оксидшавии хӯлаҳо аз рӯйи қонунияти гиперболий мегузарад. Натиҷаҳои коркардҳои қачхатаҳои квадратии оксидшавии хӯлаҳо дар ҷадвали 1.9 пешкаш гардидаанд [44].

**Ҷадвали 1.9** - Вобастагии энергияи фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи саҳти Zn55Al аз миқдори скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий [44, 45]

Ҳарорат, К	Компонентҳои хӯлаи Zn55Al	Энергияи фаъолшавӣ, кҶ/мол					
		Миқдори илова, %-и вазн					
		-	-	-	-	-	-
523	-	154.40	-	-	-	-	-
573	Sc	-	183.80	186.30	194.40	182.80	174.40
623	Y	-	177.10	185.30	191.50	174.40	165.60
	Er	-	163.90	170.00	172.80	158.20	155.90
573	-	165.30	-	-	-	-	-
598	Ca	-	139.40	112.30	92.30	77.80	60.20
623	Sr	-	145.30	118.40	102.50	82.90	65.50
	Ba	-	138.30	108.40	91.20	76.00	59.40



Расми 1.13. Муқоисаи вобастагии тағйирёбии миёнаи суръати ҳақиқии оксидшавии  $K \cdot 10^{-4}$  ( $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$ ) хӯлаҳои Zn5Al (1) ва Zn55Al (2), ки миқдорҳои 0.01 %-и вазн скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий доранд, аз рақами тартибии компоненти чавҳарӣ [43, 44].

#### 1.4. Зангзании рӯҳ ва хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ

Механизми зангзании питтингии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ ин вайрон кардани ҳолати мафъул ҳангоми ноил шудан ба потенциали сӯрохкунӣ ва зангзании минбаъда дар нуқтаҳои алоҳидаи қабулкардашуда мебошад, ки ҳангоми рафти тағйирёбӣ дар қуллаи питтинги таркиби маҳлул нигоҳ дошта мешавад [52].

Дар корҳои [53-55] тадқиқот оид ба муайян кардани қонуниятҳои асосии тағйирёбии потенциалҳои зангзании маҳлулҳои саҳт гузаронида шудаанд. Бо назардошти маълумоти муаллифони [53-55] ва дигарон фарз кардан мумкин аст, ки иловаҳои алюминӣ ба рӯҳ ба пешгирии потенциали маҳлули саҳт дар ҳолати вайрон нашудани пардаи мафъул оварда мерасонад. Хӯлаҳои рехтагари рӯҳӣ-алюминӣ, ки бо алюминӣ бой мебошанд, бо муқовимати паст муқобили зангзанӣ дар оби баҳрӣ тавсиф карда мешаванд. Бой кардани хӯла бо рӯҳ, инчунин ба бадшавии истодагари хӯлаҳо ба зангзанӣ дар оби баҳрӣ оварда мерасонад. Сабаби чунин рафтори хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ ин ҷойивазкунии потенциали электрохимиявӣ дар тарафи

манфӣ ҳангоми ҷавҳаронидани алюминий бо рӯҳ ба ҳисоб меравад. Ҳамаи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ муносибат бо ин ба зангзании питтингӣ амалан ҳиссиёти якхела доранд, чунки дар муҳитҳои комилан мутобиқ барои онҳо кимати потенциалҳои сӯрохкунӣ кам фарқ мекунад [56].

Суръати зангзании питтингӣ аз вақт вобастагӣ дорад, чӣ қадаре ки вақт зиёд бошад, ҳамон қадар суръати зангзанӣ паст мебошад. Вобастагии мазкур ҳангоми ба вучуд омадани маҳсулҳои дуюминдараҷаи камҳалшавандаи зангзание, ки ба таъсири мутақобили муҳити агрессивии масолеҳи ба зангзанӣ дучоршуда монеа мегардад [56].

Айни замон барои муҳофизат аз зангзании маснуот аз пӯлод ва чӯян рӯйпӯшҳои металли рӯҳӣ-алюминийгии навъи Галфан ва Галвалюм бо хосиятҳои баланди муҳофизатӣ истифода бурда мешаванд, ки бо онҳо бо усули тафсон, бо роҳи ғӯтонидани конструкцияҳои пӯлодӣ ба ҳавзаи металли гудохташудаи металли рӯйпӯшшаванда иҷро кардан мумкин аст [57, 58]. Бо мақсади баланд бардоштани истодагарӣ ба зангзании рӯйпӯшҳои галфанӣ аз тарафи [59-63] рӯйпӯшҳои нави муҳофизатии рӯҳӣ-алюминӣ бо бериллий, магний, металлҳои ишқорзаминӣ ва нодирзаминӣ коркард карда шудаанд. Рафтори анодии хӯлаҳои ишоратгашта дар муҳитҳои кислотадор, нейтралӣ ва ишқорӣ тадқиқ карда шудаанд. Самараи ҷавҳаронида шудани онҳо бо компонентҳои сеюм нишон дода шудааст, ки дар натиҷа суръати зангзании хӯлаҳои галфанӣ то 2-5 маротиба паст мешавад [63].

Таркиби химиявӣ аз ҳама бештар ба таври қатъӣ ба питтингустувории хӯлаҳо таъсир мерасонад, ки бо натиҷаҳои муаллифони [63] ба даст оварда ҳангоми тадқиқоти хӯлаҳои  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  муқоиса бо металлҳои ишқорзаминӣ ҷавҳаронидашуда (МИЗ) тасдиқ карда шудааст. Ҳангоми дохил кардани МИЗ (Ca, Sr ва Ba) ба таркиби хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ афзоиши потенциалҳои ҳамсарҳади зангзании питтингӣ қайд карда мешавад.

Барои ҳамаи элементҳои ҷавҳарии дидашаванда минтақаи махсуси дараҷаи ғилзат мавҷуд аст, ки дар доираи он ба питтингустувории хӯла аз ҳама таъсири бисёртар ҷавҳаронидан мерасонад [63].

Дар ҷадвали 1.10 ва 1.11 натиҷаҳои таҳлили муқоисавии вобастагии суръати зангзании хӯлаҳои рӯхӣ-алюминӣ аз миқдори МНЗ [43] ва МИЗ [63], дар муҳитҳои электролити 0.03; 0.3 и 3%-и NaCl оварда шудаанд. Чӣ тавре дида мешавад, барои хӯлаҳои ибтидоии Zn5Al ва Zn55Al ҳангоми зиёдшавии дараҷаи ғилзати элементҳои ҷавҳарӣ ба таркиби онҳо суръати зангзанӣ дар ҳама муҳитҳои тадқиқотшавандаи электролити NaCl паст мешавад. Суръати зангзании электрохимиявии хӯлаҳои ибтидоӣ ва ҷавҳаронидашуда бо афзудани ҳиссаи ионҳои хлор дар маҳлули электролити NaCl меафзояд. Иловаҳо бо миқдорҳои ноҳизӣ (аз 0.005 то 0.05 %-и вазн) скандий, иттрий, эрбий ва МИЗ потенциалҳои питтингҳосилкунӣ ( $E_{пх.}$ ) ва зангзании озоди ( $E_{занг.оз.}$ ) хӯлаҳои ибтидоии Zn5Al ва Zn55Al –ро ба тарафи мусбӣ мекӯчонанд (ҷадвали 1.10, 1.11) [43, 63].

**Ҷадвали 1.10** - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи Zn5Al аз миқдори скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий, дар муҳитҳои NaCl [43, 63]

Компоненти ҷавҳарии схӯлаи Zn5Al	Суръати зангзанӣ ( $K$ , $г/м^2 \cdot соат$ ) дар муҳитҳои электролити NaCl									
	0.03% NaCl					3% NaCl				
	Миқдори илова, %-и вазн									
	-	0.005	0.01	0.05	0.1	-	0.005	0.01	0.05	0.1
-	1.24	-	-	-	-	1.33	-	-	-	-
Sc	-	0.45	0.43	0.40	0.50	-	0.51	0.48	0.47	0.62
Y	-	0.48	0.45	0.43	0.52	-	0.57	0.55	0.51	0.65
Er	-	0.58	0.56	0.52	0.69	-	0.64	0.60	0.58	0.78
Ca	-	0.65	0.60	0.56	0.68	-	0.67	0.64	0.63	0.78
Sr	-	0.56	0.47	0.45	0.52	-	0.58	0.50	0.55	0.67
Ba	-	0.67	0.67	0.58	0.72	-	0.70	0.65	0.65	0.83

Афзоиши минбаъда то 0.5 %-и вазни миқдори элементҳои ҷавҳарӣ ба таркиби хӯлаҳои рӯхӣ-алюминӣ потенциалҳои электрохимиявиро ба тарафи

манфӣ мекӯҷонад. Вобастагии мазкур дар ҳамаи муҳитҳои тадқиқшаванда кайд гардидааст, яъне муҳитҳои ишқорӣ, нейтралӣ ва кислотагӣ (ҷадвали 1.10, 1.11) [43, 63].

Қаҷхатаҳои анодии поляризатсионии потенциодинамикии хӯлаҳои тадқиқшаванда бо он тавсиф меёбанд, ки қаҷхатаҳои 2-4 –и хӯлаҳо бо иловаи компонентҳои ҷавҳарӣ аз 0.005 то 0.05 %-и вазн ба минтақаи потенциалҳое, ки бештар қиматҳои мусбӣ доранд мекӯҷанд, дар муқоиса бо қаҷхатаи 1 барои хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминӣ [43, 63].

Бо тадқиқ намудани рафтори анодии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бо металлҳои нодирзаминӣ ва ишқорзаминӣ нишон дода шудааст, ки суръати зангзании хӯлаҳо бо афзудани дараҷаи ғилзати элементҳои ҷавҳарӣ муназзам паст мешавад.

**Ҷадвали 1.11** – Вобастагии суръати зангзании ( $K, \text{г/м}^2 \cdot \text{соат}$ ) хӯлаи  $\text{Zn55Al}$  аз миқдори скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий, дар муҳитҳои электролити  $\text{NaCl}$

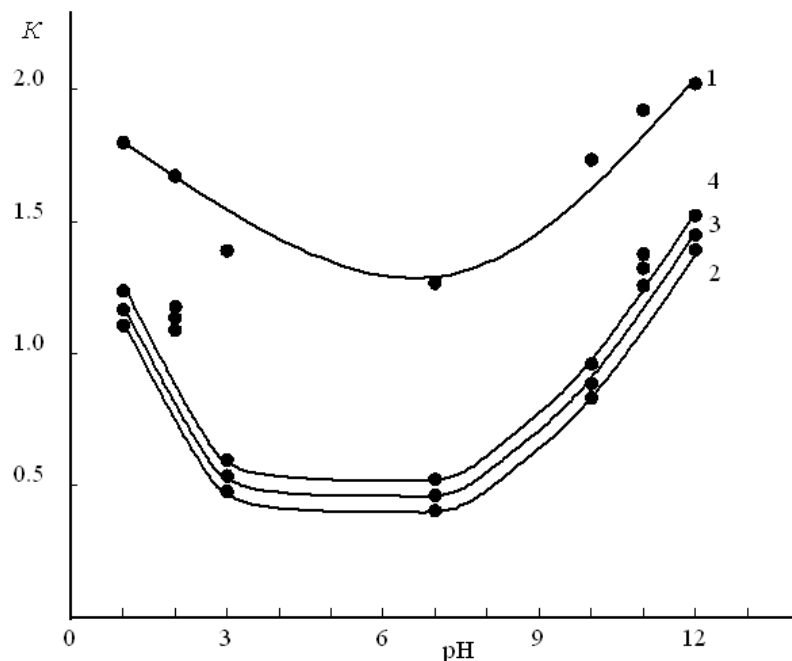
Компоненти ҷавҳарии хӯлаи $\text{Zn55Al}$	0.03% $\text{NaCl}$					3% $\text{NaCl}$				
	Миқдори илова, %-и вазн									
	-	0.005	0.01	0.05	0.1	-	0.005	0.01	0.05	0.1
-	0.220	-	-	-	-	0.271	-	-	-	-
Sc	-	0.132	0.088	0.073	0.139	-	0.146	0.103	0.088	0.161
Y	-	0.139	0.117	0.095	0.146	-	0.154	0.132	0.109	0.168
Er	-	0.168	0.146	0.125	0.176	-	0.183	0.161	0.139	0.205
Ca	-	0.168	0.154	0.146	0.176	-	0.190	0.183	0.183	0.220
Sr	-	0.154	0.132	0.095	0.124	-	0.168	0.154	0.124	0.205
Ba	-	0.183	0.176	0.176	0.190	-	0.219	0.205	0.190	0.242

Барои хӯлаҳои ибтидоии  $\text{Zn5Al}$  ва  $\text{Zn55Al}$  чанде афзудани суръати зангзании онҳо ҳангоми афзоиши минбаъдаи дараҷаи ғилзати компоненти ҷавҳарӣ мушоҳида карда мешавад, вале ба ин нигоҳ накарда, компонентҳои

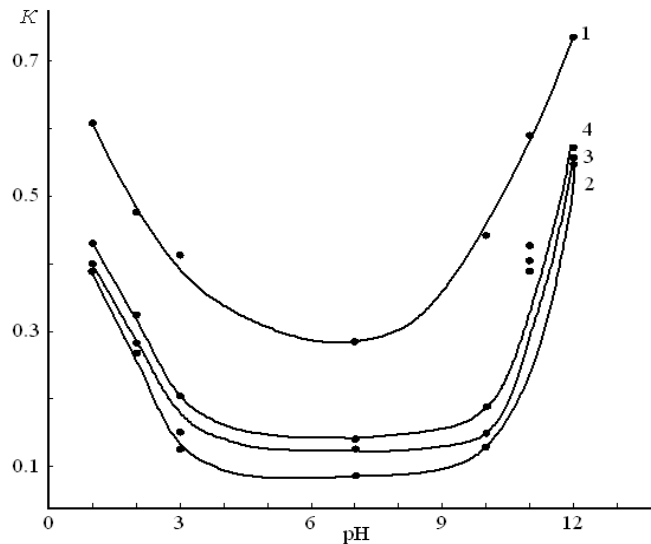
чавҳарӣ бо қиматҳои худ аз сурати зангзании хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ зиёд намешаванд (ҷадвалҳои 1.10, 1.11 ва расмҳои 1.14-1.16) [43, 63].

Бо омӯзиши таъсири элементҳои зергурӯҳи калсий ба потенциалҳои электрохимиявии хӯлаи Zn5Al пастшавии қимати потенциалҳои электрохимиявии хӯлаи Zn55Al дар ҳамаи муҳитҳои тадқиқотшаванда нишон дода шудааст [43, 63].

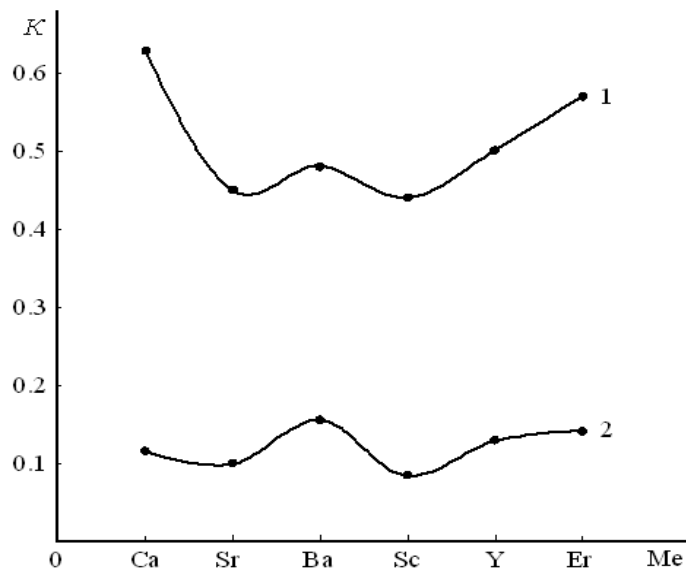
Бо тадқиқоти рафтори анодии хӯлаҳо дар муҳити ками агресивии нейтралӣ афзоиши пिटтингустувории хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо афзоиши иловаи элементи чавҳарӣ нишон дода шудааст, азбаски ҷойивазшавии потенциали пिटтингҳосилкунӣ дар минтақаи қиматҳои мусбӣ ба вуҷуд меояд. Ба зангзании пिटтингӣ бештар устувортар хӯлаҳои дар муҳити 0.03 ва 0.3%-и NaCl ба ҳисоб мераванд. Нишон дода шудааст, ки дар байни компонентҳои чавҳарии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бештар иловаҳои самарабахш мутобиқи бузиргиҳои суръати зангзанӣ скандий ва стронсий ба ҳисоб мераванд (ҷадвалҳои 1.10, 1.11 ва расмҳои 1.14-1.16) [43, 63].



**Риасми 1.14** – Вобастагии суръати зангзании ( $K \cdot 10^{-3} (\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{соат}^{-1})$ ) хӯлаи Zn5Al (1), ки миқдорҳои 0.05 %-и вазн -и скандий (2), иттрий (3) ва эрбий (4) доранд, аз муҳити рН.



**Расми 1.15** - Вобастагии суръати зангзании ( $K \cdot 10^{-3} (\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{соат}^{-1})$ ) хӯлаи Zn55Al (1), ки миқдорҳои 0.05 %-и вазни скандий (2), иттрий (3) ва эрбий (4) доранд, аз муҳити рН.



**Расми 1.16** – Вобастагии муқоисавии суръати зангзании ( $K \cdot 10^{-3} (\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{соат}^{-1})$ ) хӯлаҳои Zn5Al (1) ва Zn55Al (2), ки миқдорҳои 0.01 %-и вазни скандий, иттрий, эрбий ва элементҳои зергурӯҳи калсий доранд, аз рақами тартибии компоненти ҷавҳарӣ, дар муҳити электролити 0.3% -и NaCl [43, 63].

Ҷамин тариқ, рӯҳ бештар тез-тез дар истехсолоти рӯйпӯшҳои электрохимиявӣ истифода бурда мешавад. То 40% аз захираҳои ҷаҳонии рӯҳ барои муҳофизати конструксияҳои металлӣ аз зангзанӣ сарф мешавад.

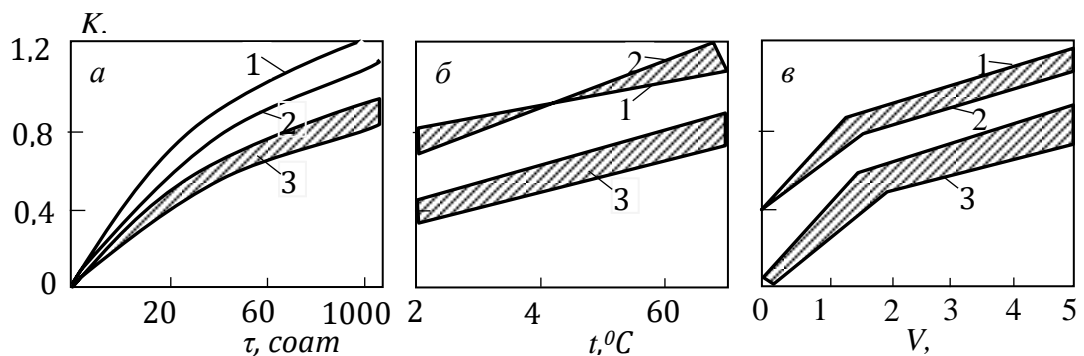
Рӯйпӯшҳои рӯҳӣ ба анодиҳо дохил шуда, сатҳҳои пӯлоди ро бо роҳи электрохимиявӣ муҳофизат менамоянд. Дар шароитҳои ҳавоӣ сатҳи рӯҳ дар натиҷа ба вучуд омадани пардаи тунуки оксид хира мешавад, ки металлро аз оксидшавии минбаъда ҳимоя менамояд [64].

Дар кори [65] оид ба хусусиятҳои ҳосилкунӣ ва бартариҳои истифода бурдани рӯйпӯшҳои электрохимиявӣ хӯлаҳои рӯҳ бо молибден ва қалъагӣ маълумот дода шудааст. Хусусиятҳои рӯйпӯшкунӣ бо хӯлаҳои Zn-Mo ва Zn-Sn ва хӯлаҳо дар асоси ҳар яке аз ин металлҳо тадқиқот гузаронида шудааст. Нишон дода шудааст, ки чунин рӯйпӯшҳо нисбат ба рӯйпӯшҳое, ки танҳо бо яке аз металлҳо иборат мебошад, бартариҳо доранд. Самаранокии истифодабарии онҳо дар шароитҳои ҳавоии қатъии баланд (муҳитҳои баҳрӣ, минтақаҳои наздибаҳрӣ, тропикӣ ва дигар омилҳои муҳитҳои берунӣ) нишон дода шудааст. Аён аст, ки илова кардани миқдори на он қадар зиёди молибден ба таркиби рӯйпӯши рӯҳӣ дар раванди электролиз, ба даст овардани рӯйпӯши хӯлаҳои Zn-Mo –ро бо қобилиятҳои комилан баландтари муҳофизатӣ нисбат ба рӯйпӯшҳои рӯҳӣ имконият медиҳад.

Рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар асоси рӯҳ комилан паҳнғашта ба ҳисоб мераванд. Барои баланд бардоштани устуворӣ ба зангзании рӯйпӯшҳо, беҳтар кардани шакли берунии онҳо, тақвият додани хосиятҳои технологӣ ва механикии рӯйпӯшҳо, аз элементҳои ҷавҳарии рӯҳ бештар тез-тез алюминий истифода бурда мешавад. Устувории рӯйпӯшро кадмий (<0.2%) баланд мебардорад. Барои беҳтар кардани шакли берунии рӯйпӯши қалъагӣ (<1%) дохил карда мешавад; ҳамчун мисли кадмий вай чунин нақшо низ иҷро мекунад. Рӯйпӯши дурахшон ҳангоми якҷоя ба таркиби метали гудохта дохил кардани алюминий ва қалъагӣ ҳосил карда мешавад. Ҳангоми истифода бурдани композитсияҳои сегонаи (Zn+Al+Sn) фаъолияти анодии баланд зоҳир мегардад, ки истифода бурдани композитсияи мазкурро дар муҳити табиӣ барои таъсири протектории самарабахш имкон медиҳад [51, 53].



Рӯйпӯшҳои рӯҳӣ, ки бо элементҳои нодир чавҳаронида шудаанд, айни замон истифодабарии васеъро ба даст овардаанд [50]. Миқдори ночизи онҳо (0.001-0.01%) ба таври қатъӣ имкони баланд бардоштани истодагарӣ ба зангзании рӯйпӯшҳои рӯҳиро зиёд карда, хосиятҳои механикии онҳоро беҳтар менамояд. Иловаҳои теллур, рений, серий ёзандагии рӯйпӯшҳоро тақвият медиҳанд – суръати зангзаниро ҳангоми 20-80°C ба 1.5-2.0 маротиба барои рӯйпӯши рӯҳӣ дар селай оби баҳрӣ (1.5-3.0 м/с), инчунин кафидани маснуоти рӯҳандудшударо ҳангоми кашиш ва фишурдан дар раванди қатшавӣ паст мекунад (расми 1.17). Айнан чунин таъсири иловаҳои 0.1% Се ва 0.001% В мерасонанд. Устуворӣ ба зангзании рӯйпӯшҳо бо афзудани ҳарорат аз 20 то 80°C тахминан ба 1.5 маротиба паст мешавад. Устуворӣ ба зангзании рӯйпӯшҳои рӯҳии бо элементҳои нодирзаминӣ чавҳаронидашуда ҳангоми афзудани суръати ҷараёни муҳит баланд маҳфуз боқӣ мемонад [50].



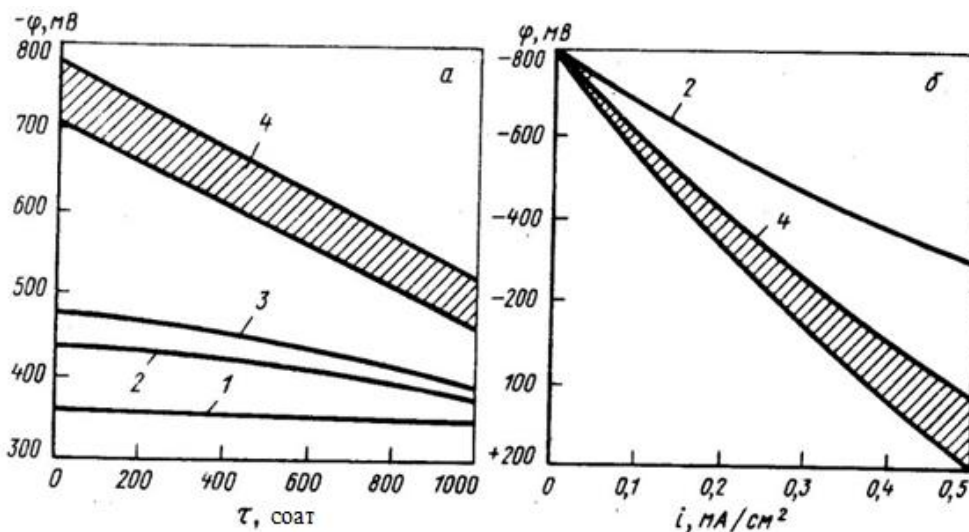
**Расми 1.17-** Таъсири давомнокии озмоиш (а), ҳарорат (б) ва суръати ҷараёни оби баҳрӣ (в) ба суръати зангзании рӯйпӯше, ки дар гудохтаҳо ҳосил карда шудааст: 1-рӯҳи бозпуктнашуда; 2- рӯҳи бозпуктшуда; 3 – рӯҳ бо элементҳои нодир (0,001-0,01 % Те, Се, Ре ва В) [50].

Ҳангоми ба таркиби хӯлаи рӯҳӣ илова кардани 0.001% Те, 0.01% Ре ё 0.1% Се қимати баланди ба зангзанӣ устувории хӯлаҳо қайд карда мешавад. Инчунин ба зангзанӣ устувории хӯлаҳоро самаранок иловаҳои рений, як миқдор камтар – серий ва бор баланд мебардоранд [50].

Чавҳаронидан бо элементҳои нодирӣ потенциали рӯйпӯшро дар умум ба тарафи манфӣ мекӯчонад (расми 1.18, а). Дар мавриди мазкур фарқ барои

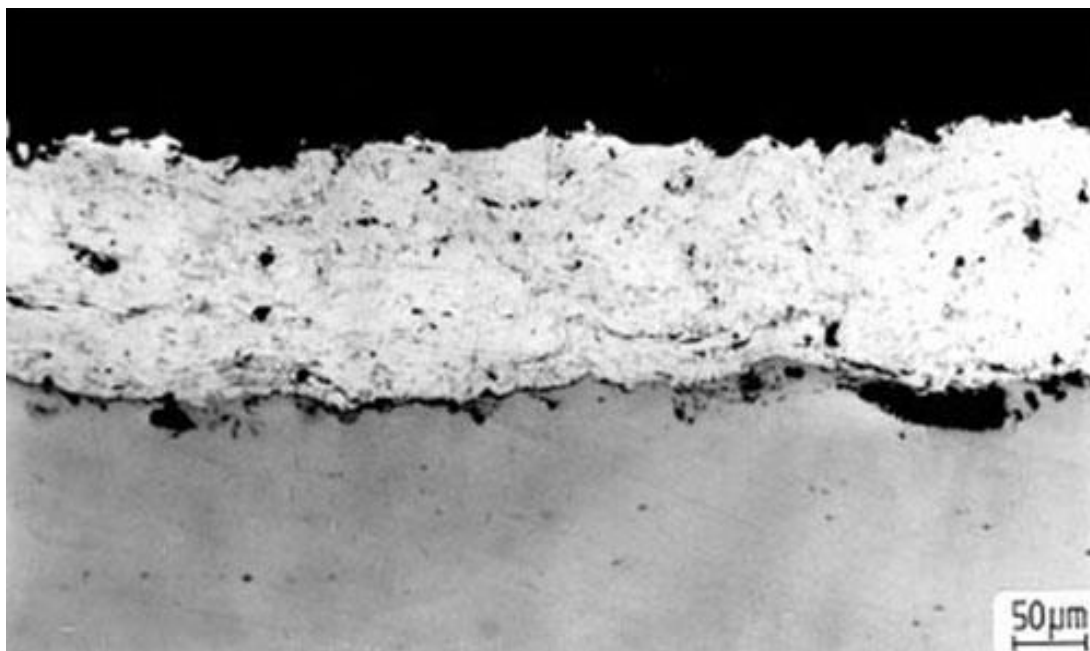
потенциалҳо, ташкилкунандаҳои фазавӣ баробарвазн мебошанд, бо вучуди ин рӯйпӯш хосиятҳои протекторӣ (анодӣ) зоҳир менамояд. Дар шартҳои поляризацияи анодӣ (расми 1.18, б) санҷишқунии рӯйпӯшҳои бо элементҳои нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда баландтар, нисбат ба рӯҳи оддӣ мебошад, ки ба лучшавии қабати пӯлодӣ оварда мерасонад. Қайд карда мешавад, ки суръати вайроншавии рӯҳи ҷавҳарониданашуда тахминан ба ду маротиба нисбат ба рӯйпӯшҳои хӯлаҳои дида баромадашаванда баландтар аст [50].

Рӯйпӯшҳое, ки ба ҳама гуна падидаҳои ҳавоӣ истодагарӣ доранд, дар асоси хӯлаҳои рӯҳ ва алюминий ( $Zn/Al15$ ,  $Zn/Al5$ ) ба вуқуд оварда мешаванд, ки бо тез пур кардани ковоқиҳои маснуоти маҳсули зангзании рӯҳ фаҳмонидан мумкин аст.



**Риасми 1.18** – Таъсири давомнокии озмоиш (а) ва зичии анодии ҷараён (б) ба потенциалҳои: 1- пӯлоди 10; 2 – рӯйпӯши рӯҳи, ки дар гудохтаи рӯҳи бозпуктнашуда ба даст оварда шудааст; 3 - ҳамчунин, дар бозпуктшуда; 4 – дар рӯҳ бо элементҳои нодирзаминӣ [50].

Васл кардани рӯҳ бо алюминий беҳатар мебошад, пас, рӯҳ ҳангоми ҳалшавӣ ба таври электрохимиявӣ алюминийро муҳофизат менамояд. Инчунин рӯйпӯшҳо аз алюминий, ки барои муҳофизат аз зангзании газии пӯлод ва оҳан равона гардидаанд, истифодабарии васеъ меёбанд (расми 1.19) [53].



**Расми 1.19** – Рӯйпӯши рӯҳӣ - алюминӣ [53].

Ҳамин тариқ, алюминий ва рӯҳ аз рӯйи ҳаҷм як дараҷа зиёдтар нисбат ба метALLE, ки аз онҳо ба вуҷуд оварда мешавад қабати зичӣ маҳсулҳои зангзаниро ба вуҷуд меоранд. Рӯйпӯши рӯҳие, ки дар об муддати зиёд мавҷуд мебошад, аз берун бо қабати гидрооксиди рӯҳ, карбонатҳо ё оксидҳои онҳо, ковокиҳое, ки бо маҳсулҳои зангзанӣ пӯшонидани мешаванд. Устуворӣ ба зангзани чунин рӯйпӯшҳо бо гузашти вақт як миқдор меафзояд.

### **1.5. Хулосаҳо аз рӯйи шарҳи адабиёт ва вазифагузорӣ кардан**

Инак, дар ҷаҳони муосир ҳангоми коркарди рӯйпӯшҳои нави муҳофизатӣ ва масолеҳи конструксионие, ки барои кор дар шароитҳои махсусан саҳт таъйин карда шудаанд, вазифаи баланд бардоштани устувории анодии онҳо ва бар илова ба онҳо додани устуворӣ ба зангзанӣ меистад, ки ҳалли амалии он бо сатҳи доштани дониш дар соҳаи химияи физикавӣ алоқамандӣ дорад. Дар натиҷаи таъсири мутақобили физикӣ-химивии рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ ва масолеҳи металлӣ бо муҳитҳои кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ хосиятҳои онҳо тағйир меёбанд. Ин таъсири мутақобил

ба қисман ё бо пуррагӣ вайроншавии қабати муҳофизатии рӯйпӯши металлӣ, маснуот, конструксия ё иншоот оварда мерасонад. Бинобар ҳамин, хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи асосӣ бисёре аз рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ ва хӯлаҳои ба зангзанӣ тобовар ба ҳисоб мераванд.

Шарҳи адабиёт оид ба масъалаи мазкур нишон медиҳад, ки ҳамин гуна тадқиқоти физикӣ-химиявӣ бо иштироки хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо металлҳои ишқорзаминӣ ва нодирзаминӣ ҷавҳаронидашуда гузаронида шудаанд. Аммо, таҳлили адабиёт ва ҷустуҷӯ дар шабакаи интернет мавҷуд набудани маълумоти таҷрибавиро оид ба тадқиқоти физикӣ-химиявии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо металлҳои гузаранда (титан, сирконий)-ро тасдиқ менамоянд.

Истифодашавии васеи хӯлаҳо дар асоси рӯх дар соҳаҳои гуногуни саноат гузаронидани тадқиқоти мурағабии физикӣ-химиявии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашударо талаб менамояд. Шарҳи адабиёт гувоҳӣ медиҳад, ки хосиятҳои ҳароратӣ, термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо металлҳои гузарандаи зикргашта амалан омӯхта нашудаанд.

Аз гуфтаҳои боло бармеояд, ки тадқиқоти гармиғунҷоиши нисбӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ, кинетикаи оксидшавӣ ва рафтори анодии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда, ки ба сифати рӯйпӯшҳои анодии маснуоти металлӣ ва конструксияҳо истифода бурда мешаванд, вазифаи мубрам ба ҳисоб меравад ва тавсифи амалию бунёдӣ дорад.

## **БОБИ II. ВОБАСТАГИИ ҲАРОРАТИИ ГАРМИҒУНҶОИШ ВА ТАҒЙИРЁБИИ ФУНКСИЯҲОИ ТЕРМОДИНАМИКИИ ХҶЛАҲОИ РҶҲҶ-АЛЮМИНИИ $Zn_5Al$ , $Zn_{55}Al$ БО ТИТАН ВА СИРКОНИИ**

### **2.1. Назарияи усул ва тавсифи таҷҳизот барои ҷен кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт [66]**

Инкишофи илмӣ-техникии муосир суръати баланди тараққиёти металлургияи рангаро таъмин менамояд. Дар ҳаҷми умумии истеҳсоли металлҳои ранга дар саноат рӯҳ ҷойи чорумро ишғол менамояд. Бо шарофати хосиятҳои хоси рӯҳ ва хӯлаҳо дар асоси он пайвастагиҳои гуногуни рӯҳ барои мақсадҳои конструксионӣ ва ғайри конструксионӣ истифода мешаванд [66].

Хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бештар тез-тез барои истеҳсоли масолеҳи нимтайёр, рӯйпӯшҳои варақаҳо ва рехтагарӣ истифода бурда мешаванд. Хӯлаҳо дар асоси рӯҳ инчунин ҳангоми истеҳсоли протекторҳои рехтахосилшуда, ки барои муҳофизати конструксияҳои металлӣ ва киштиҳои баҳрӣ аз зангзанӣ заруранд, истифода бурда мешаванд [67–70].

Миёни дигар металлҳои истифодашаванда рӯҳ дар саноатҳои гуногун яке аз ҷойҳои асосиро ишғол менамояд. Маҷмӯи хосиятҳои механикӣ, физикӣ ва технологиии рӯҳи бо элементҳои гуногун ҷавҳаронидашуда нисбат ба рӯҳи ғайриҷавҳарӣ як дараҷа баланд мебошад [71-74].

Ҷен кардани гармиғунҷоишҳо асосан дар дастгоҳи ИТС-400 гузаронида мешаванд, ки барои омӯхтани вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбӣ таъйин гардидааст [75].

Аз тарафи мо гармиғунҷоиши нисбӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминии  $Zn_5Al$  ва  $Zn_{55}Al$  бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда бо истифода бурдани суръати хунукшавии намунаҳо дар якҷоягии гармиғунҷоиши маълуми намунаи меъёрӣ аз мис тадқиқ карда шудааст [76-91].

Дар адабиёт оид ба таъсири титан ва сирконий ба хосиятҳои физикаи гармо ва функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ маълумот мавҷуд нест. Тадқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бо титан ва сирконий дар речаи «хунукшавӣ» бо усулҳои, ки муфассал дар қорҳои [76-91] тавсиф гардидаанд, чен карда шудааст.

Барои муайян кардани суръати хунуккунӣ қачхатаҳои хунуккунии намунаҳо сохта шуда буданд. Қачхатаҳои хунуккунӣ вобастагии ҳарорати намунаро аз вақти хунукшавии он дар ҳаво нишон медиҳанд.

Гузариши ҳарорат аз ҷисми бештар тафсонидашуда ба камтар тафсонидашуда раванDEST, ки барои муқаррар кардани мувозинати термодинамикӣ дар системаи аз зарраҳои миқдоран сершумор иборатбуда равона гардидааст. Ин раванди релаксатсия (аз ҳолати ғайримувозинатӣ ба ҳолати мувозинатӣ тадриҷан гузаштан) мебошад, ки нигоранда (экспоненциально) бо гузашти вақт тавсиф кардан мумкин аст. Дар мавриди мо ҷисми тафсонидашуда гармии худро ба муҳити атроф медиҳад. Бинобар ҳамин ҳарорати муҳити атроф доимӣ ( $T_0$ ) ҳисобида мешавад [92].

Инак, қонуни тағйирёбии ҳарорати ҷисм аз вақтро  $t$  ба намуди зерин навиштан мумкин аст:

$$\Delta T = \Delta T_1 e^{-t/t_1},$$

дар ин ҷо  $\Delta T$  – фарқи ҳароратҳои ҷисми тафсонидашуда ва муҳити атроф;

$\Delta T_1$  – фарқи ҳароратҳои ҷисми тафсонидашуда ва муҳити атроф ҳангоми

$t = 0$ ;

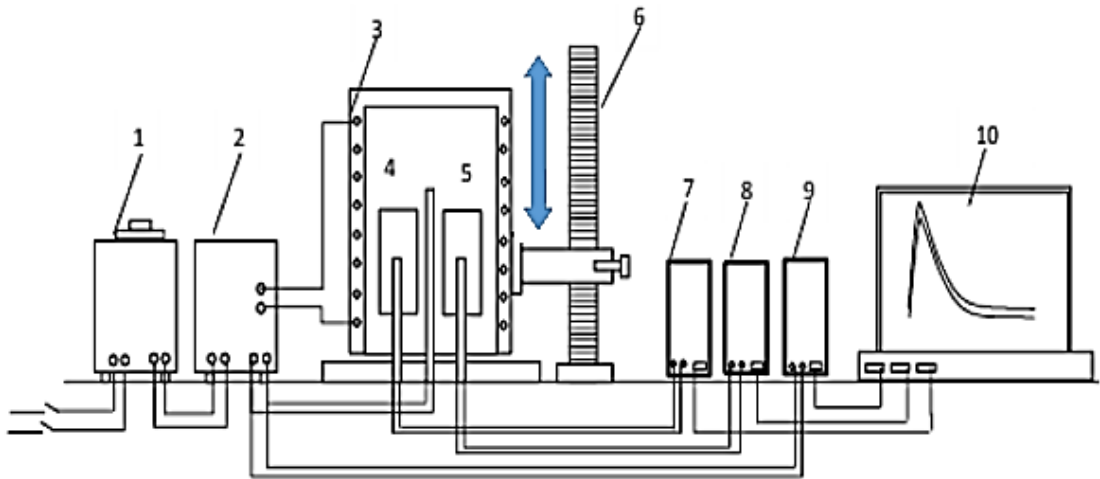
$t$  – вақти хунукшавӣ;

$t_1$  – хунукшавии доимӣ, ки қиматан ба вақт баробар аст, ки дар ин муддат фарқи ҳароратҳо ба  $e$  маротиба байни ҷисми тафсонидашуда ва муҳити атроф кам мешавад.

Гармиғунҷоиш дар дастгоҳе, ки дар расми 2.1 нишон дода шудааст, чен карда шуд. Оташдони барқӣ (3) дар поя (6) насб карда шудааст, ки дар он метавонад ба боло ва поён ҷой иваз кунад (тирча самти ҳаракатро нишон медиҳад). Намуна (4) ва намунаи меъёрии стандартӣ (5) (инчунин

мутахаррик), устувои дариш 30 мм ва қутраш 16 мм бо милҳои аз як тараф сӯроҳкардашуда, ки дар онҳо термопараҳо (4 ва 5) гузошта мешаванд. Охири термопар ба термометри рақамии «Мултиметри рақамӣ DI9208L» (7, 8 ва 9) пайваст карда мешавад. Оташдони барқӣ аз автотрансформатори озмоишгоҳӣ (ЛАТР) (1) ба қор андохта мешавад, ки ҳарорати дилхоҳро бо ёрии термостат (2) муқаррар кардан мумкин аст. Чӣ тавре ки термометрҳои рақамии «Мултиметри рақамӣ DI9208L» нишон медиҳанд, қимати ҳарорати ибтидоӣ доимӣ мебошад [66].

Ҳароратҳоро аз рӯи нишондоди термометрҳои «Мултиметри рақамӣ DI9208L» дар компютер (10) назорат карда, намуна ва намунаи меъёриро ба оташдони барқӣ ҷойгир карда, то ҳарорати зарурӣ метафсонем. Намуна ва намунаи меъёриро якҷоя аз оташдони барқӣ берун оварда ва аз ҳамин вақт ҳароратро муқаррар менамоем. Нишондоди термометри рақамӣ «Мултиметри рақамӣ DI9208L» дар компютер ҳар як 10 сония пас навишта мешаванд, то он даме ки намуна ва намунаи меъёрӣ то ҳарорати хонагӣ хунук нашаванд [93].



**Расми 2.1**– Схеми таҷҳизот барои муайян кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои саҳт дар речаи «хунуккунӣ»: 1-автотрансформатор; 2-термостат; 3-оташдони барқӣ; 4-намунаи санҷишӣ; 5-намунаи меъёрӣ (эталон); 6-пои оташдонибарқӣ; 7-термометри рақамии намунаи санҷишӣ; 8- термометри рақамии намунаи меъёрӣ; 9- термометри рақамии таъйиноти умум; 10-асбоби бақайдгиранда [93].

Усули асосии муайян кардани хосиятҳои термодинамикии ҷисмҳо, ҷенкунии таҷрибавии гармиғунҷоиш дар фосилаҳои гуногуни ҳарорат ба ҳисоб меравад [93].

Ҷен кардани гармиғунҷоиш бо он асос ёфтааст, ки селай ҳароратии аз байни ҳисобкунаки ҳароратӣ гузаранда, ба тафсонидани ампула якҷоя бо намунаи тадқиқотшаванда равона мегардад. Бузургии селай ҳароратие, ки аз байни ҳисобкунаки ҳарорат дохил мешавад, мулоҳиза мегардад ва дар асоси фарқи ҳароратҳо дар ҳисобкунаки ҳароратӣ ва гармигузаронии ҳисобкунаки ҳароратӣ ҳисоб карда мешавад, ки бо таҷрибаҳои мустақилонаи калибрмуайянкунда бо намуна аз мис муайян карда мешавад. Диапазони ҳароратӣ то 523К аз рӯйи методикаи хатогии ҷенкунӣ аз 6% зиёд нест [93].

Қонуни хунуккунии Ньютон-Рихман барои ҷен кардани гармиғунҷоиши металлҳо истифода бурда шуд. Вақте ки ҳарорати намуна баланд аз ҳарорати муҳити атроф бошад, ҳар кадом объект хунук мешавад, суръати хунукшавии он аз қимати гармиғунҷоиши ҷисм ва коэффитсиенти гармидиҳӣ вобаста мебошад [94–97].

Қаҷхатаҳои хунуккунии ду меҳвари металии шакли якхеладошта (ҳарорат вобаста аз вақт)-ро муқоиса карда, яке аз онҳо, ки меъёри стандарти ба ҳисоб меравад (суръати хунукшавии он ва гармиғунҷоиш маълуманд), гармиғунҷоиши меҳвари дигариро ҳангоми ҳисоби суръати хунуккунӣ муайян кардан мумкин аст.

Ҷисми пештар тафсонидашуда баъди хунукшавӣ вази  $m$  –ро ба  $dT$  градус гум мекунад, миқдори гармӣ  $\delta Q$  аз рӯйи ифодаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$\delta Q = C_p^0 m dT, \quad (2.1)$$

дар ин ҷо  $C_p^0$ – гармиғунҷоиши нисбии моддае, ки аз он ҷисм иборат аст.

Дар назар бояд дошт, ки энергия аз сатҳи ҷисм гум мешавад, шуморида мешавад, ки миқдори гармии гумшудаи  $\delta Q_S$  аз сатҳи ҷисм дар фосилаи вақти  $dt$ , мутаносибан ба фарқи ҳароратҳо миёни муҳити атроф  $T_0$  ва ҷисми  $T$  майдони сатҳи  $S$  ва вақт баробар мешавад



$$\delta Q_s = -\alpha(T - T_0) \cdot S dt . \quad (2.2)$$

Коэффитсиенти гармидихӣ  $\alpha$  ҳангоми фарқи ҳароратҳо ба 1К бо Вт/(м<sup>2</sup>•К) на ҳама вақт доимист ва аз фарқи ҳароратҳо вобастагӣ дорад, ки дар натиҷаи он қонун тақрибӣ ҳисобида мешавад. Селаи ҳароратиро ҳамчун вектор дида баромада, бояд ба инобат гирифта шавад, ки вай ба сатҳ амудӣ равон аст, ки аз болои он ҳангоми як воҳиди баландии ҳароратӣ  $\alpha$ -миқдори ҳароратдар воҳиди вақт ба 1 м<sup>2</sup>-и сатҳ мегузарад. Якчанд омилҳо: геометрияи тана, ҳолати сатҳ ва самти села; навъи конвексия ва речаи села; навъи гармибаранда ва ҳарорати он ба селаи гармӣ таъсир мерасонанд. Пас, функцияи раванди таҳвили гармӣ  $\alpha$  қимати қадвалӣ ба ҳисоб намеравад,  $\alpha$  минбаъд ҳамчун бузургии ҳисобӣ бо роҳи таҷрибавӣ ҳисоб карда мешавад [93].

Агар қисм чунин гармӣ паҳн кунад, ки ҳарорати ҳамаи нуқтаҳои он якхела тағйир ёбад, он гоҳ баробарии зеринро одилона ҳисобидан мумкин аст:

$$\delta Q = \delta Q_s \text{ и } C_p^0 m dT = -\alpha(T - T_0) \cdot S dt . \quad (2.3)$$

Ифодаи (2.3)-ро ба намуди зерин пешниҳод кардан мумкин аст:

$$C_p^0 m \frac{dT}{dt} = -\alpha(T - T_0) S . \quad (2.4)$$

Фарз мекунем, ки  $C_p^0$ ,  $\alpha$ ,  $T$  ва  $T_0$  дар фосилаҳои хурди ҳарорат аз координатаҳои нуқтаҳои сатҳи намуна вобаста нестанд, ки то ҳарорати баробари муҳити атроф тафсонида шудаанд, он гоҳ таносуби (2.4) барои ду намуна шакли зеринро мегирад:

$$C_{p_1}^0 m_1 s_1 \alpha_1 \left( \frac{dT}{dt} \right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 s_2 \alpha_2 \left( \frac{dT}{dt} \right)_2 . \quad (2.5)$$

Ин баробариро барои ду намуна истифода мебарем, ки яке аз онҳо меъёрии стандартӣ мебошад, бо андозаҳои якхела ва ҳолати сатҳҳо ( $S_1 = S_2$ ), тахмин кардан мумкин аст, ки коэффитсиентҳои гармидихӣ баробар  $\alpha_1 = \alpha_2$  мешаванд ва бо муодилаи зерин ифода меёбанд:

$$C_{p_1}^0 m_1 \left( \frac{dT}{dt} \right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 \left( \frac{dT}{dt} \right)_2 . \quad (2.6)$$

Аз ин муодила, гармиғунҷоиши нисбии  $C_{p_1}^0$  суръати хунукшавии намунаи меъёрӣ  $\left(\frac{dT}{dt}\right)_1$ , намунаи санҷидашаванда  $\left(\frac{dT}{dt}\right)_2$  ва вазни намунаҳо  $m_1$  ва  $m_2$ -ро доништа, гармиғунҷоиши моддаи номаълумро  $C_{p_2}^0$  ҳисоб кардан мумкин аст

$$C_{p_2}^0 = \frac{C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{dt}\right)_1}{m_2 \left(\frac{dT}{dt}\right)_2}. \quad (2.7)$$

Аз тарафи муаллифони [98, 107] вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши алюминий ва мис бо усули дар боло зикргардида муайян карда шуда буд ва маълумоти қаноатбахш ба даст оварда шуда буданд, ки истифодаи усули мазкурро исбот менамоянд [108, 109]. Натиҷаҳои ба даст овардашудаи мо барои мис ва алюминий бо маълумоти сарчашмаҳои адабиётӣ мувофиқат менамоянд [110, 111].

Бо ёрии усули калориметрӣ (дар ҳудудҳои 303К – 371К) аз тарафи муаллифони [112, 113] ченкардашуда қимати миёнаи гармиғунҷоиши нисбии алюминийи тамғаи А5N ба 826,14 Ҷ/(кг·К) баробар аст, ҳангоми ҳисоб кардан бо ёрии ифодаи (2.7) бошад – 892,4 Ҷ/(кг·К).

**Синтези хӯлаҳо.** Барои тадқиқот дар оташдони конӣ бо муқовимати барқии навъи СШОЛ дар фосилаи ҳароратҳои 500-660°C аз рӯҳи Ц1 (ГОСТ 3640-94), алюминийи тамғаи А7 (ГОСТ 11069-2001) ва чавҳариҳои он бо титан ва сирконий хӯлаҳо ба даст оварда шуда буданд. Чавҳариҳои алюминий бо титан (2,5% Ti) ва сирконий (2% Zr) пешакӣ дар зери фишори гази инертӣ дар оташдони вакуумӣ синтез карда шуда буд. Миқдори титан ва сирконий дар таркиби хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо %-и вазн ташкил дод: 0,05; 0,01; 0,1; 0,5. Гудозаҳоро дар тарозуи таҳлили АРВ-200 бо саҳеҳии  $0,1 \cdot 10^{-6}$  кг бар кашидем. Гудозатайёркунӣ бо назардошти ғуборҳои металлӣ гузаронида шуд. Оташдони барқии муқовиматии СШОЛ то 850°C тафсонида шуда алюминий ва рӯҳ гудохта шуд, сипас ба таркиби он чавҳариҳои титан илова карда шуда буд. Қиёсан ҳамин гуна хӯлаҳоро бо сирконий ҳосил кардем. Баъди чанде нигоҳ доштан ва дар зери ҳарорати

зарурӣ дар муддати 30 дақиқа аз дажғол тоза карда, гудохтаро бодикқат омехта кардем. Аз гудохтаи ҳосилкардашуда дар қолиби графитӣ намунаҳо бо қутрҳои 16 мм ва дарозии 30 мм барои омӯзиши вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯхӣ, ҳабҳо (таблетки) бо қутрҳои 8 мм ва баландии 5 мм барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий чавҳаронидашуда, меҳварҳо бо қутрҳои 8 мм ва дарозии 140 мм барои тадқиқоти рафтори зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаҳо рехтем.

Таркиби хӯлаҳои ҳосилкардашуда интихобан бо ёрии таҳлили химиявӣ санҷида шуданд, вазни намунаҳо бошад, то ва баъди чавҳаронидан бар қашида шуд. Сипас хӯлаҳо барои фарқияти вазн тадқиқ карда шуданд, ки вазн на зиёда аз 2% (нисбатан) –ро то ва баъди гудохтан ташкил меод.

## **2.2. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al [114]**

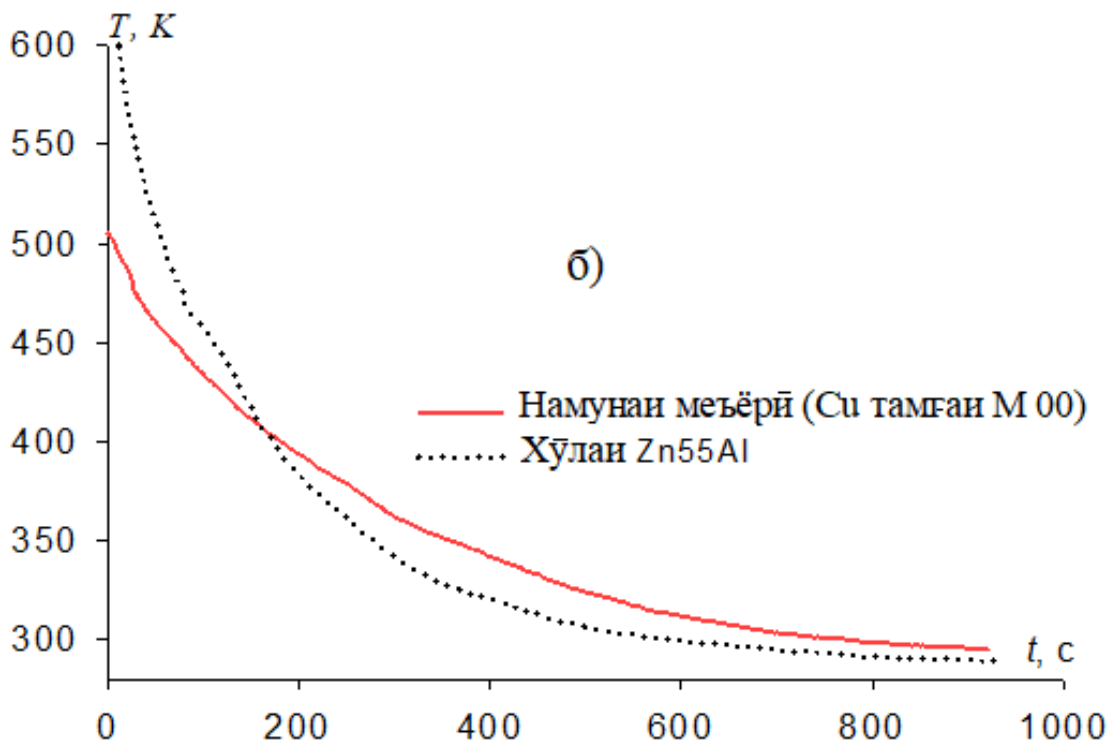
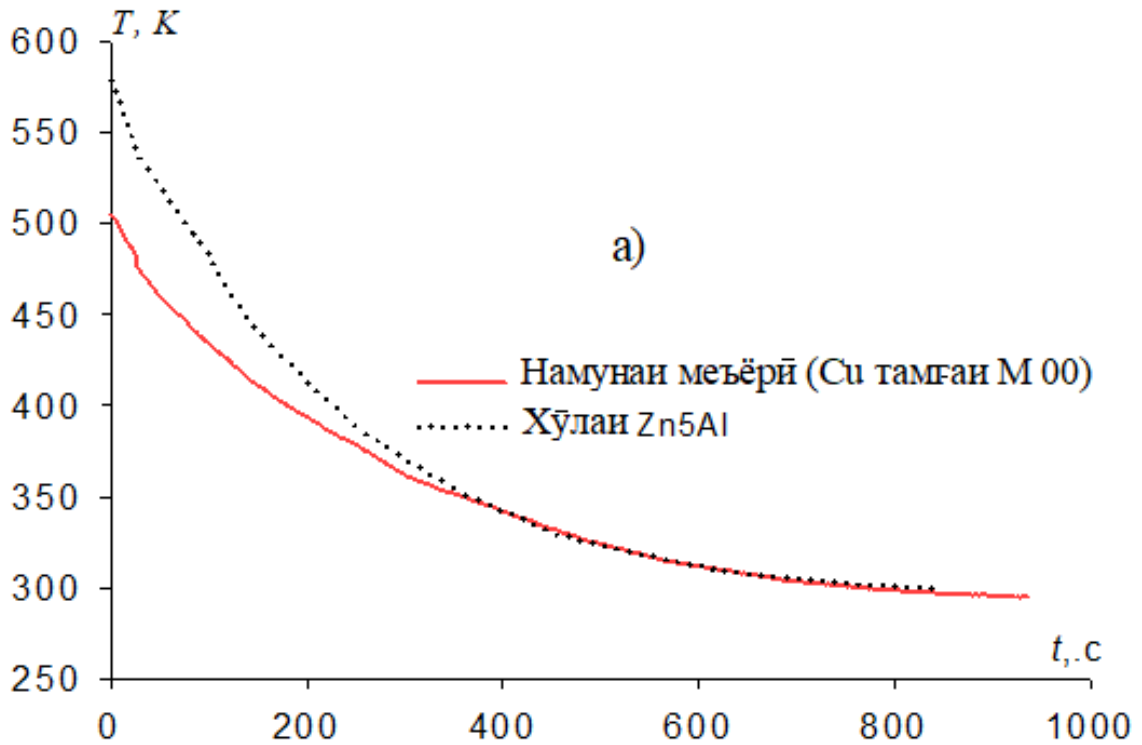
Тадқиқоти вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al-ро аз рӯйи методикаи боби 2.1-и дар боло зикргардида ва бо назардошти корҳои [66, 75-93] гузаронидем.

Дар расми 2.2 (а,б) вобастагии ҳароратии намунаҳо аз вақти хунуқшавӣ барои хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al пешниҳод гардидаанд, ки дар рафти таҷриба ба даст оварда шудаанд ва бо муодилаи намуди зерин тавсиф мегарданд:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[ (T_1 - T_0) e^{-t/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-t/\tau_2} \right]. \quad (2.8)$$

Ҳангоми дифференсиал ёфтани муодилаи (2.8) аз рӯйи  $t$  барои суръати хунуқшавии намунаҳои хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al ҳосил мекунем

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{2} \left[ -\left( \frac{T_1 - T_0}{\tau_1} \right) e^{-t/\tau_1} - \left( \frac{T_2 - T_0}{\tau_2} \right) e^{-t/\tau_2} \right]. \quad (2.9)$$



**Расми 2.2** – Графики вобастагии тағйирёбии ҳарорати намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn<sub>5</sub>Al (а), Zn<sub>55</sub>Al (б) ва намунаи меъёрӣ аз вақти хунукшавӣ [114].

Аз рӯйи муодилаи (2.9) мо суръати хунукшавии намунаҳоро аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn<sub>5</sub>Al, Zn<sub>55</sub>Al ва намунаи меъёрӣ ҳисоб намудем, ки

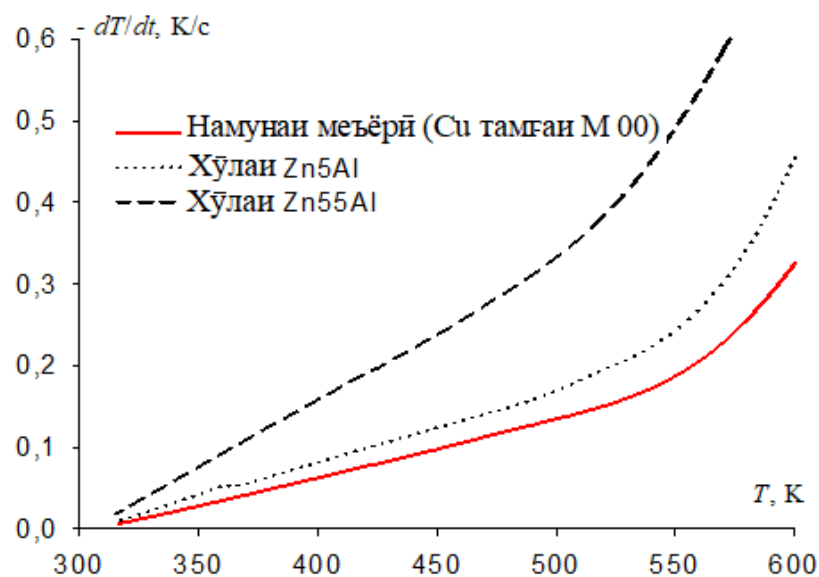
тариқи графикӣ дар расми 2.3 (а,б) пешниҳод гардидаанд. Барои хӯлаҳои тадқиқшуда дар ҷадвали 2.1 қиматҳои коэффициентҳои  $\Delta T_{01}$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_{02}$ ,  $t_2$  – и муодилаи (2.9) оварда шудаанд [114].

**Ҷадвали 2.1** – Қиматҳои коэффициентҳои  $\Delta T_1$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $t_2$ -и муодилаи (2.9) барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи М00) [114]

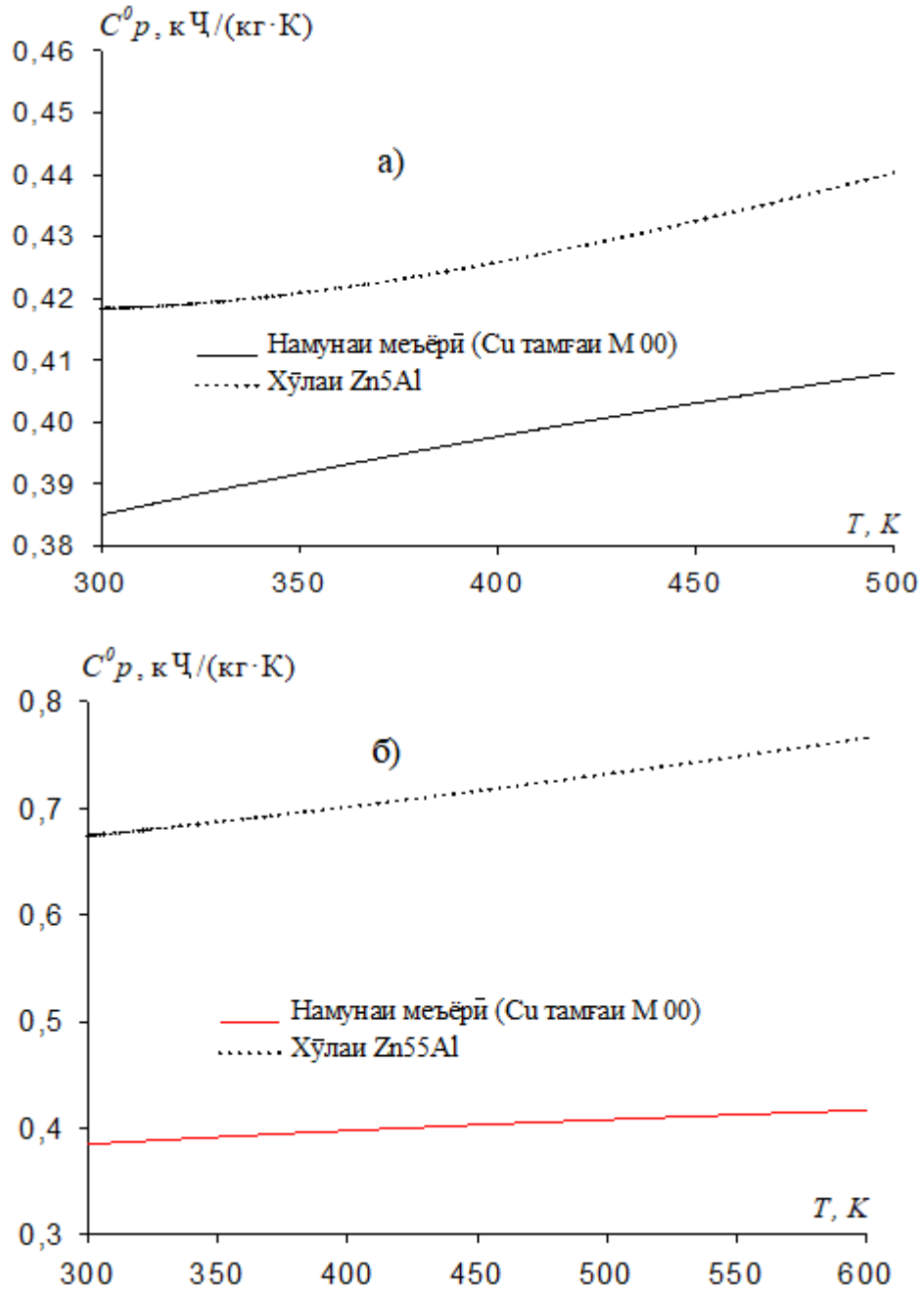
Хӯла	$T_1 - T_0$ , К	$t_1$ , с	$T_2 - T_0$ , К	$t_2$ , с	$(T_1 - T_0)/\tau_1$ , К/с	$(T_2 - T_0)/\tau_2$ , К/с	$T_0$ , К
Zn5Al	79.98	37.88	309.82	577.00	2.1114	0.5370	304.86
Zn55Al	120.78	63.69	285.78	619.77	1.8964	0.4611	302.99
Намунаи меъёрӣ	120.77	63.68	285.76	619.73	1.8966	0.4615	302.97

Дар расми 2.4 (а,б) вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои Zn5Al, Zn55Al ва намунаи меъёрӣ оварда шудаанд. Бо назардошти суръати хунукшавии намунаҳо дар натиҷаи таҷриба барои вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои Zn5Al, Zn55Al дар фосилаи ҳароратҳои 300-600 К муодилаи зерин ба даст оварда шуд:

$$C_p^0 = a + bT^2 + cT^3 + dT^4. \quad [114]. \quad (2.10)$$



**Расми 2.3** – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи М00) [114]



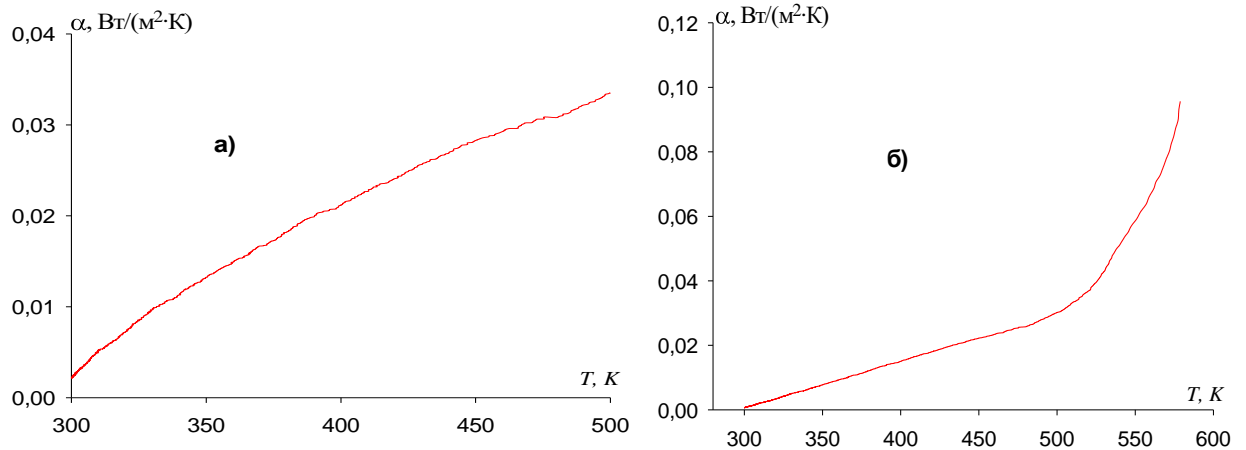
**Расми 2.4** – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (а), Zn55Al (б) ва намунаи меъёрӣ (Cu тамгаи M00) [114].

Дар асоси маълумот аз рӯйи гармиғунҷоиши хӯлаҳои Zn5Al, Zn55Al ва намунаи меъёрӣ ва бузургиҳои тариқи таҷрибавӣ ба даст овардашудаи суръати хунукшавии намунаҳо коэффитсиенти гармидиҳӣ  $\alpha$  (Вт/(К·м<sup>2</sup>)) барои хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al аз рӯйи ифодаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$\alpha = \frac{Cm \frac{dT}{dt}}{(T-T_0) \cdot S}, \quad (2.11)$$

ки дар ин ҷо  $T$  ва  $T_0$  – ҳарорати намуна ва муҳити атроф,  $S$  ва  $m$  – масоҳати сатҳ ва вазни намуна, ба таври мувофиқ [114].

Дар расми 2.5 вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳӣ барои хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al пешниҳод гардидаанд.



**Расми 2.5** – Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б)

Бо ёрии барномаи Sigma Plot ва муодилаи (2.7) коэффитсиентҳои дар зер овардашуда барои полиномҳои (2.10) ба даст оварда шуданд. Ин коэффитсиентҳо вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al-ро тавсиф менамоянд, ки дар ҷадвали 2.2 пешниҳод шудаанд [114]:

**Ҷадвали 2.2** – Қиматҳои коэффитсиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  –и муодилаи (2.10) барои хӯлаҳои Zn5Al, Zn55Al ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) [114]

Хӯла	$a$ , Ҷ/(кг·К)	$b \cdot 10^{-4}$ , Ҷ/(кг·К <sup>2</sup> )	$c \cdot 10^{-7}$ , Ҷ/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-10}$ , Ҷ/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффитсиенти коррелятсия $R^2$
Zn5Al	0.4916	-5,9	14,2	8.00	0.9996
Zn55Al	0.6160	1,28	2,35	-52,2	1.00
Намунаи меъёрӣ	0.3245	2,75	-2,87	1,42	1.00

Ҳангоми ҳисоб кардани вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс аз рӯи (2.12)–(2.14) интегралҳо аз гармиғунҷоиши нисбӣ ( $\text{кҶ}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ) аз рӯи муодилаи (2.10) истифода бурда шуда буданд [114].

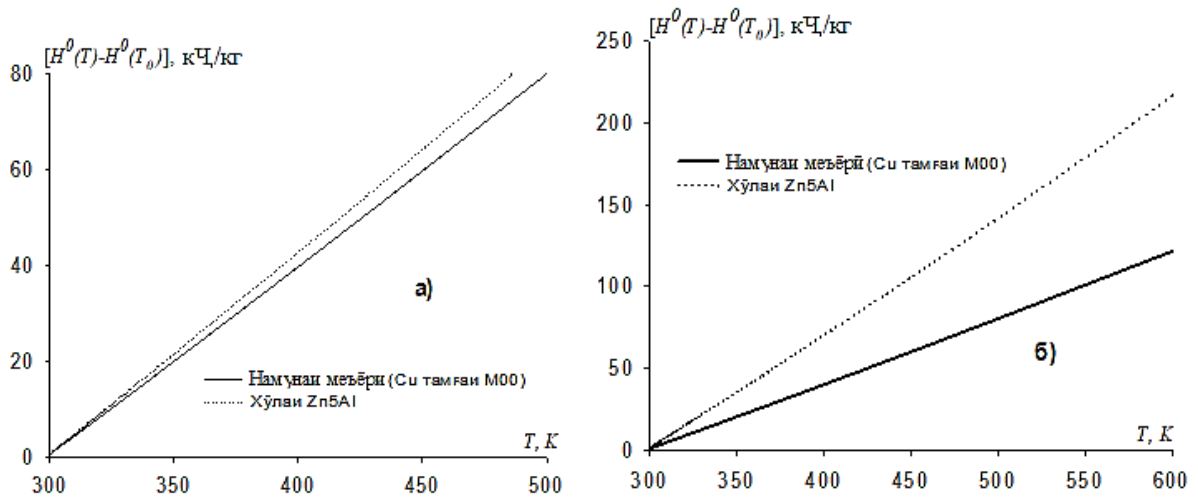
Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al, ки бо муодилаҳои (2.12) - (2.14) ҳисоб карда шудаанд, ба намуди графикӣ дар расмҳои 2.6 (а, б), 2.7 (а, б) ва 2.8 (а, б) пешниҳод шудаанд.

$$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (2.12)$$

$$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (2.13)$$

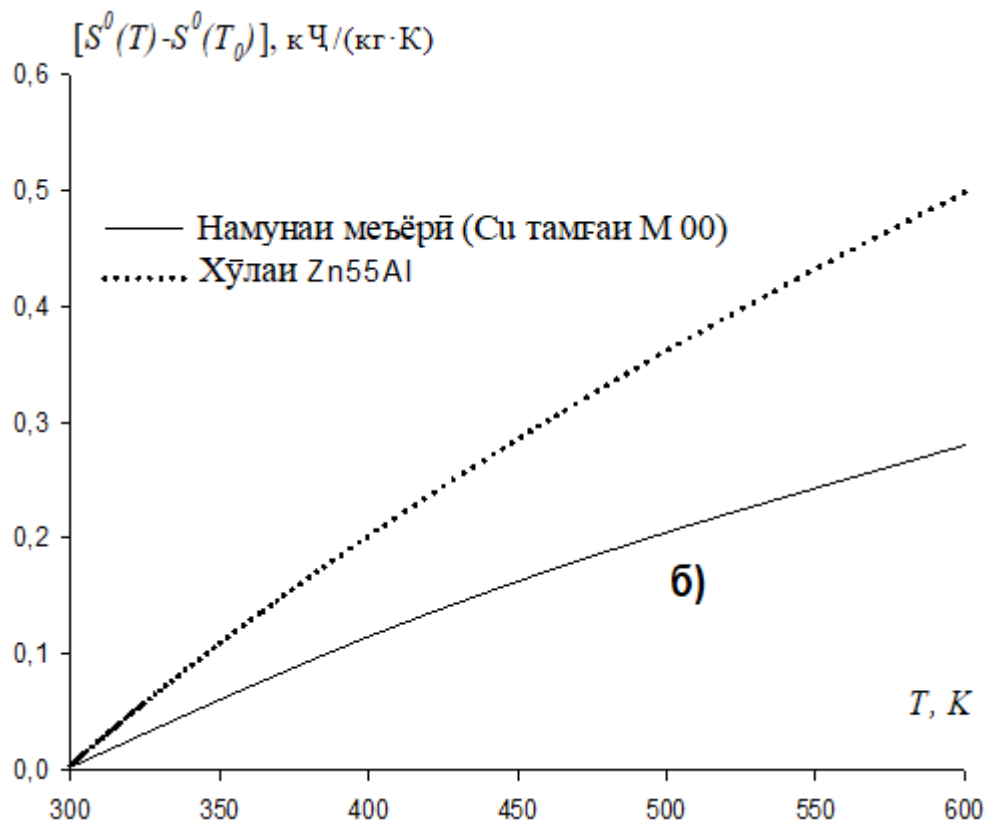
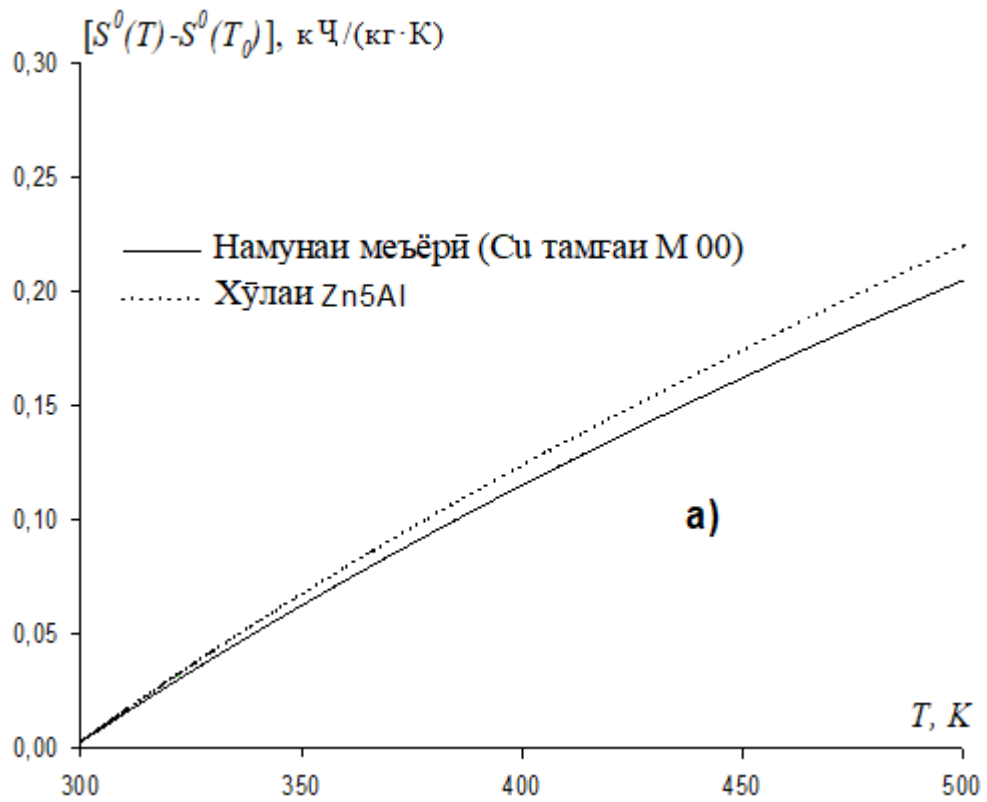
$$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0)] = [H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] - T[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)], \quad (2.14)$$

ки дар ин ҷо  $T_0 = 273,15 \text{ К}$  [114].

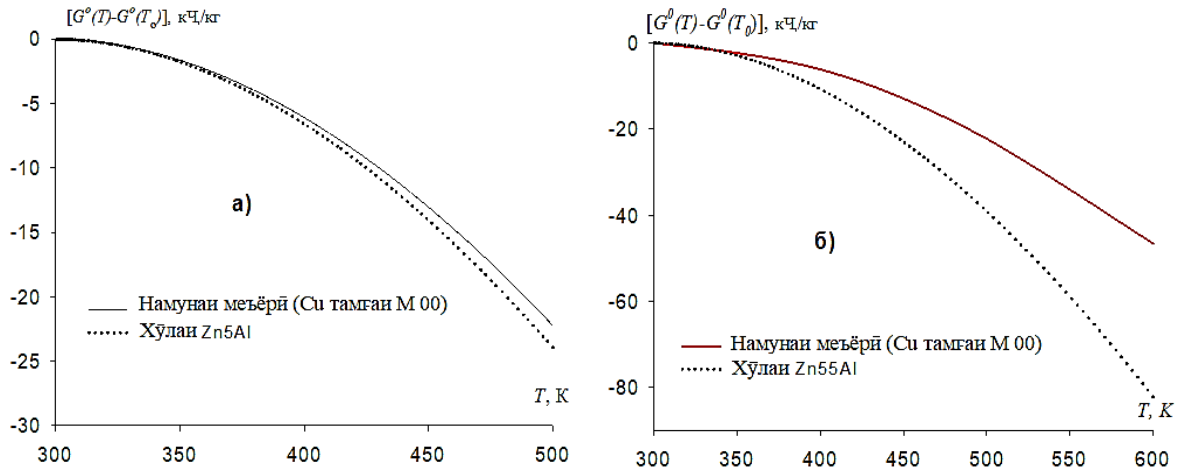


**Расми 2.6** – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпия барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) [114].





**Расми 2.7** – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии энтропия барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) [114].



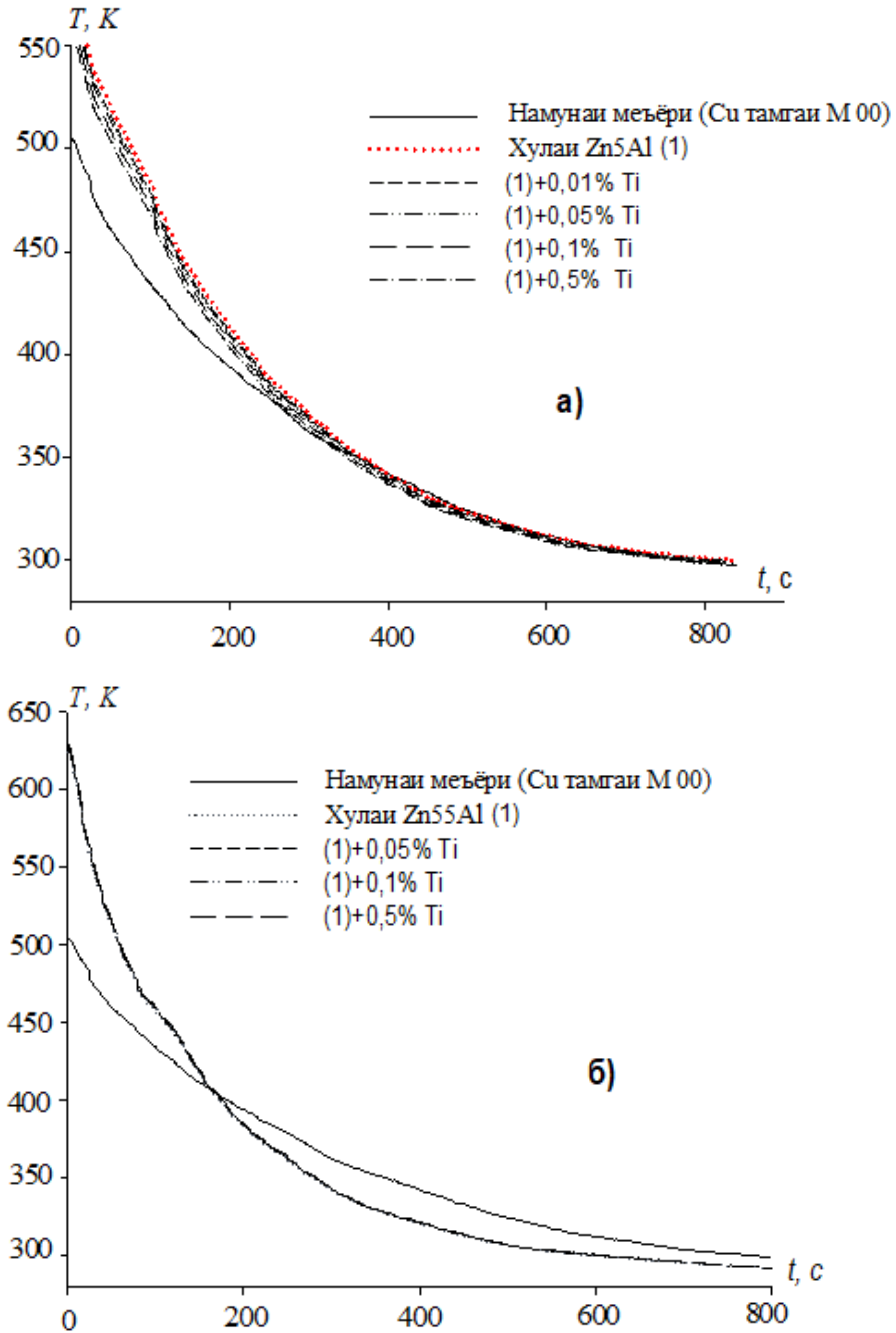
**Расми 2.8** – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энергияи Гиббс барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) [114].

Ҳангоми зиёд шудани ҳарорат гармиғунҷоиши нисбӣ ва коэффитсиенти гармидиҳӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al меафзоянд (расмҳои 2.4–2.7), тағйирёбии энергияи Гиббс бошад, паст мешавад (расми 2.8). Ҳамин тариқ, муодилаҳои ба даст овардашудаи вобастагии ҳароратии функсияҳои термодинамикӣ ва тавсифҳои физикаии гармо хосиятҳои мазкури хӯлаи Zn5Al –ро бо саҳеҳии  $R^2_{\text{корр}} = 0.999$  тавсиф менамоянд [114].

### 2.3. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан [115]

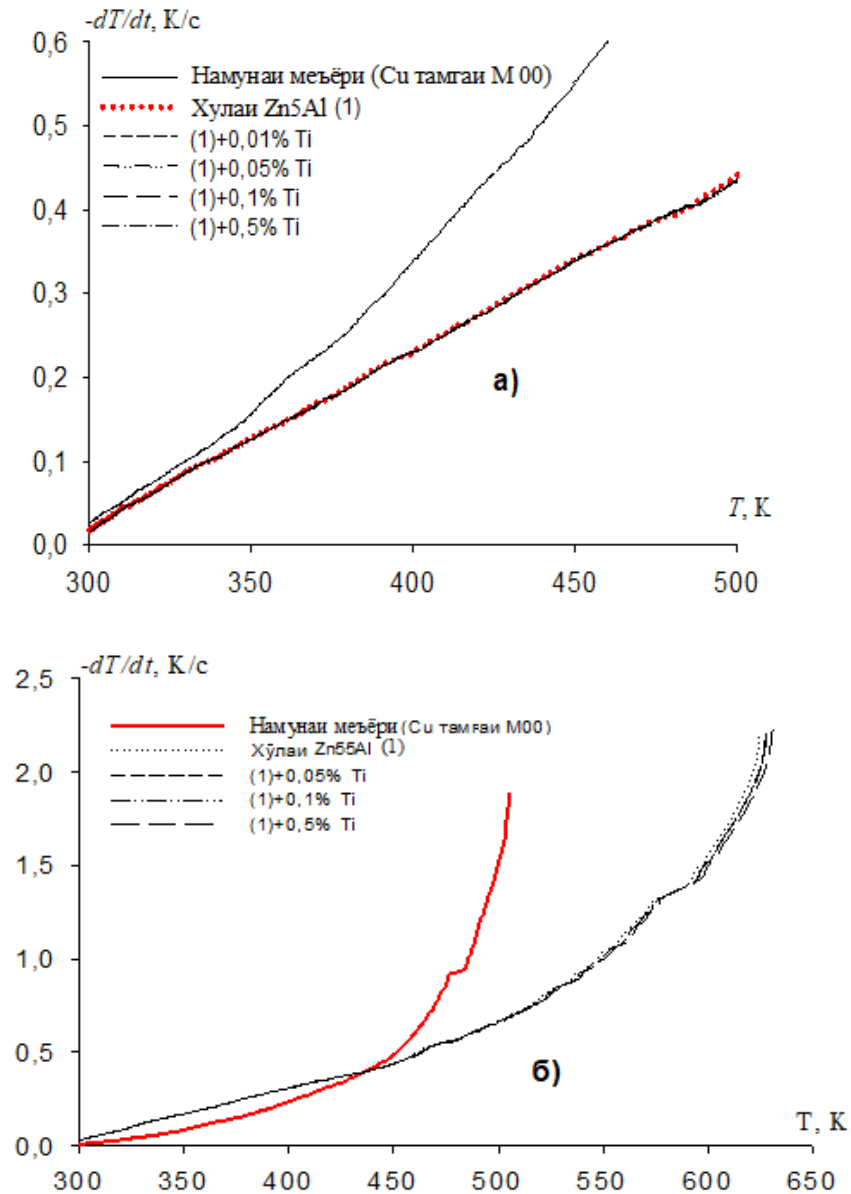
Бо методикае, ки дар фасли 2.1 тавсиф гардидааст, қачхатаҳои вобастагии ҳароратҳои хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо титан чавҳаронидашуда аз вақт гирифта шуда буданд, ки дар расми 2.9 пешниҳод шудаанд. Суръати хунукшавии намунаҳо аз тарафи мо аз рӯйи муодилаи (2.9) ҳисоб карда шуда буд. Барои намунаҳои тадқиқшаванда дар ҷадвали 2.3 қиматҳои коэффитсиентҳои  $\Delta T_{01}$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_{02}$ ,  $t_2$  дар муодилаи (2.9) пешниҳод шудаанд [115].

Вобастагиҳои суръати хунукшавии намунаҳои бо титан  
чавҳаронидашудаи хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al дар расми 2.10 оварда шудаанд.



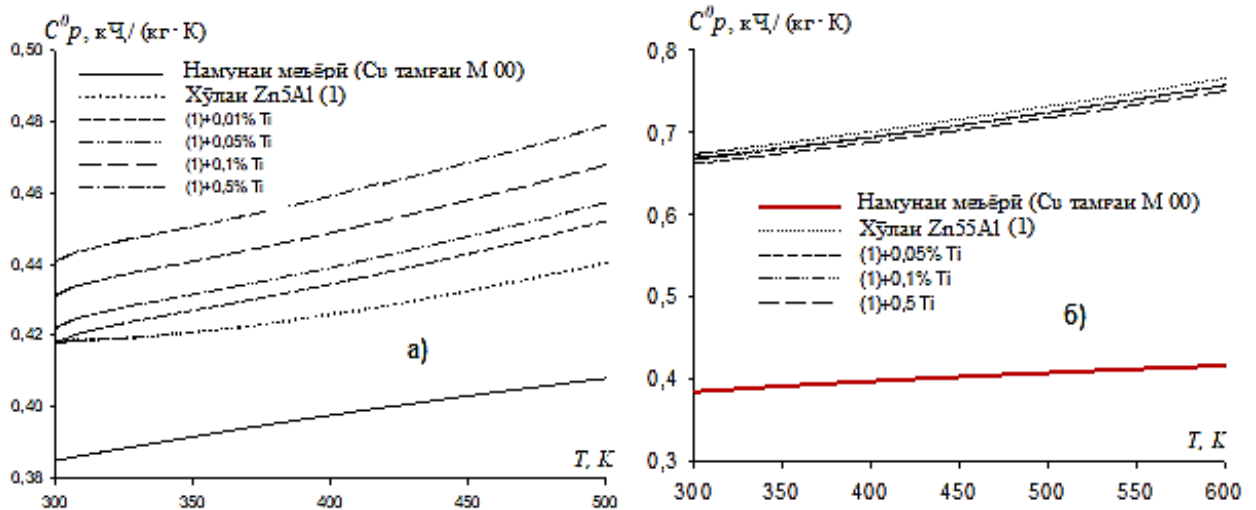
**Расми 2.9** – Качхатаҳои вобастагии ҳароратии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-  
алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан аз вақти  
хунукшавӣ [1-А, 14-А, 16-А]

Барои ҳисоб кардани гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  
Zn5Al ва Zn55Al бо титан қимати суръати хунукшавии намунаҳо аз рӯйи  
муодилаи (2.9) истифода бурда шуда буд.



**Расми 2.10** – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан [1-А, 14-А, 16-А]

Бо истифода бурдани муодилаи (2.9) ва барномаи Sigma Plot коэффитсиентҳои дар зер овардашуда барои полиномҳои (2.10) ба даст оварда шуданд, ки вобастагии ҳароратии гармигунҷоиши нисбии хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al ва хӯлаҳои бо титанро тавсиф менамоянд. Дар ҷадвали 2.4 қимати коэффитсиентҳои муодилаи (2.10) оварда шудаанд. Қиматҳои ҳисобкардашудаи  $C_p^0$  барои намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда баъд аз ҳар 50 К дар ҷадвали 2.5 ва расми 2.11 пешниҳод гардидаанд.



**Расми 2.11** – Вобастагии гармиғунҷоиши нисбӣ аз ҳароратҳо барои хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан [1-А, 14-А, 16-А]

**Ҷадвали 2.3** – Қиматҳои коэффитсиентҳои  $\Delta T_1$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $t_2$  –и муодилаи (2.9) барои хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) [1-А, 14-А, 16-А]

Микдори титан дар хӯлаҳо, %-и вазн	$T_1 - T_0$ , К	$t_1$ , с	$T_2 - T_0$ , К	$t_2$ , с	$(T_1 - T_0)/\tau_1$ , К/с	$(T_2 - T_0)/\tau_2$ , К/с	$T_0$ , К
Хӯлаи Zn5Al	143,12	234,33	143,39	234,33	0,6107	0,6119	290,56
0,01	140,549	236,35	140,67	236,35	0,5947	0,5952	289,36
0,05	139,11	236,35	139,23	236,35	0,5886	0,5891	289,20
0,1	136,25	236,35	136,36	236,35	0,5765	0,5770	288,87
0,5	133,38	236,35	133,49	236,35	0,5643	0,5648	288,54
Хӯлаи Zn55Al	57,04	20,70	290,44	180,01	2,7552	1,6135	288,43
0,05	57,613	20,70	293,35	180,01	2,7827	1,6297	288,59
0,1	57,56	20,70	293,06	180,01	2,7800	1,6280	288,57
0,5	58,07	20,70	295,67	180,01	2,8048	1,6426	288,71
Намунаи меъёрӣ	18,42	19,19	208,99	316,11	0,9595	0,6612	281,98

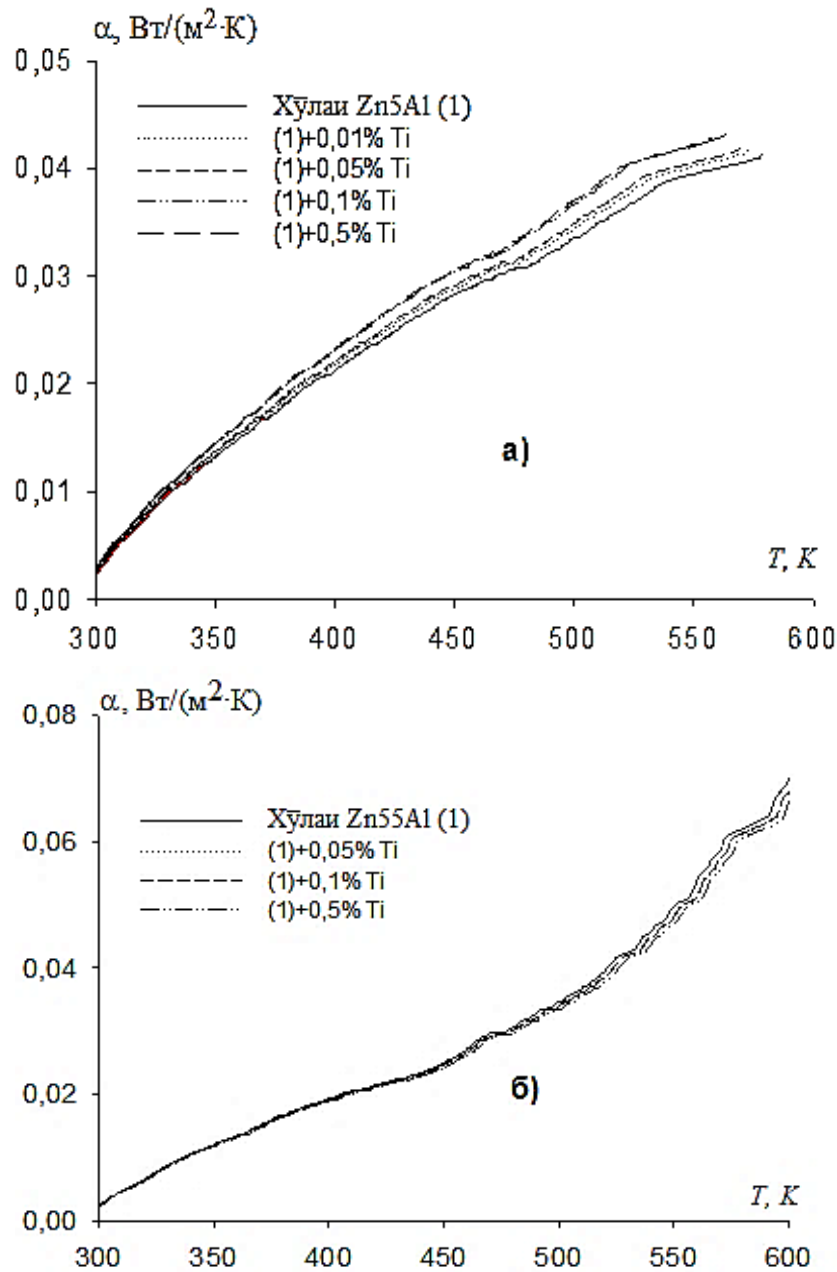
**Ҷадвали 2.4** – Қиматҳои коэффитсиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  –и муодилаи (2.10) барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) [1-А, 14-А, 16-А]

Миқдори титан дар хӯлаҳо, %-и вазн	$a$ , Ҷ/(кг·К)	$b \cdot 10^{-4}$ , Ҷ/(кг·К <sup>2</sup> )	$c \cdot 10^{-7}$ , Ҷ/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-10}$ , Ҷ/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффитсиенти коррелятсия R <sup>2</sup>
Хӯлаи Zn5Al	0,4916	-5,90	14,2	-8,90	0,999
0,01	0,3255	5,18	-9,31	8,01	0,999
0,05	0,3274	5,34	-9,67	8,34	0,999
0,1	0,3311	5,68	-1,05	9,07	0,999
0,5	0,3348	6,06	-11,3	9,87	0,999
Хӯлаи Zn55Al	0,6160	1,28	2,35	$-0,522 \cdot 10^{-11}$	0,999
0,01	0,6102	1,27	2,28	$-0,502 \cdot 10^{-11}$	0,999
0,05	0,6509	-1,27	7,56	-4,10	0,999
0,1	0,6057	1,26	2,22	$-0,486 \cdot 10^{-11}$	0,999
0,5	0,6057	1,26	2,22	$-0,486 \cdot 10^{-11}$	0,999
Намунаи меъёрӣ	0,325	2,75	-2,87	1,42	1,00

**Ҷадвали 2.5** – Вобастагии гармиғунҷоиши нисбии (к/(кг·К)) хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al бо титан ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) аз ҳарорат [1-А, 14-А, 16-А]

Миқдори титан дар хӯлаҳо, %-и вазн	Т, К				
	300	350	400	450	500
Хӯлаи Zn5Al	0,4184	0,4209	0,4258	0,4325	0,4404
0,01	0,4184	0,4209	0,4258	0,4325	0,4404
0,05	0,4187	0,4271	0,4350	0,4431	0,4519
0,1	0,4231	0,4316	0,4397	0,4479	0,4569
0,5	0,4314	0,4401	0,4482	0,4566	0,4659
Хӯлаи Zn55Al	0,6741	0,6873	0,7015	0,7164	0,7322
0,05	0,6675	0,6804	0,6943	0,7089	0,7244
0,1	0,6698	0,6815	0,6948	0,7095	0,7252
0,5	0,6910	0,7085	0,7269	0,7461	0,7661
Намунаи меъёрӣ	0,3850	0,3917	0,3977	0,4031	0,4080

Баъдан аз рӯйи бузургиҳои таҷрибавии ба даст овардашудаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои ва маълумоти ҳисобкардашудаи гармиғунҷоиш вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳӣ  $\alpha$ , Вт/(К·м<sup>2</sup>) ҳисоб карда шуда буд. Дар расми 2.12 натиҷаҳои ҳисобҳо пешкаш гаштаанд.



**Расми 2.12** – Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан [1-A, 14-A, 16-A].

Ҳангоми ҳисоб кардани вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энтропия, энталпия ва энергияи Гиббс аз рӯйи муодилаҳои (2.12) – (2.14) интегралҳо аз

гармиғунҷоиши нисбӣ бо муодилаи (2.10) истифода бурда шуданд. Дар расмҳои 2.13-2.15 ва дар ҷадвали 2.6 ва 2.7. натиҷаҳои ҳисобҳои тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои ҳӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан баъд аз 50 К оварда шудаанд.

**Ҷадвали 2.6** – Вобастагии тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) аз ҳарорат [1-A, 14-A, 16-A]

T, K	Намунаи меъёрӣ	Ҳӯлаи Zn5Al (1)	(1)+ 0,01% Ti	(1)+ 0,05% Ti	(1)+ 0,1% Ti	(1)+ 0,5% Ti
	[ $H^0(T) - H^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои ҳӯлаҳо					
300	0,711986	0,773949	0,774362	0,782406	0,79775	0,81653
350	20,13154	21,74397	21,9233	22,15282	22,5875	23,1285
400	39,8675	42,90353	43,4764	43,93482	44,7958	45,8879
450	59,88805	64,35731	65,42621	66,12123	67,4155	69,0899
500	80,16671	86,17662	87,7953	88,73614	90,47296	92,7664
[ $S^0(T) - S^0(T_0^*)$ ], кҶ/(кг · К) барои ҳӯлаҳо						
300	0,002381	0,002588	0,002589	0,002616	0,002667	0,00273
350	0,062238	0,067234	0,067775	0,068485	0,069828	0,07150
400	0,114937	0,123736	0,125324	0,126644	0,129127	0,13226
450	0,162092	0,174266	0,177021	0,178898	0,182401	0,18691
500	0,204819	0,220236	0,224149	0,226544	0,230979	0,23679
[ $G^0(T) - G^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои ҳӯлаҳо						
300	-0,0022	-0,0024	-0,0024	-0,00242	-0,00247	-0,00253
350	-1,65181	-1,78782	-1,79799	-1,81677	-1,85242	-1,89651
400	-6,10716	-6,59073	-6,65308	-6,72286	-6,85473	-7,01967
450	-13,0534	-14,0623	-14,2331	-14,383	-14,6649	-15,0216
500	-22,2427	-23,9416	-24,2792	-24,5361	-25,0167	-25,6319

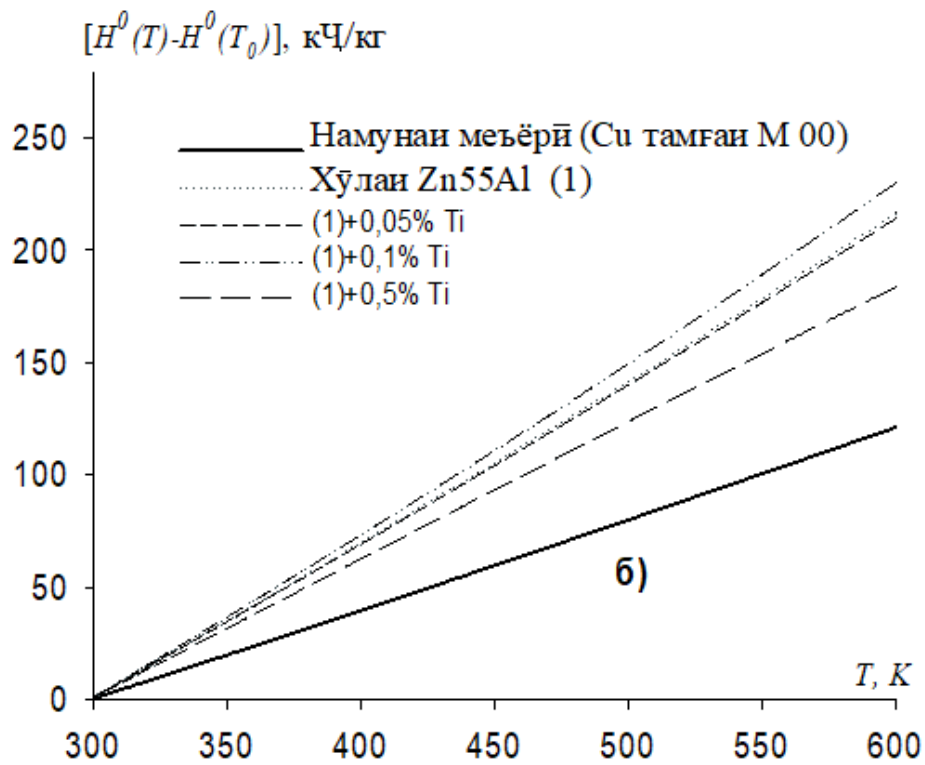
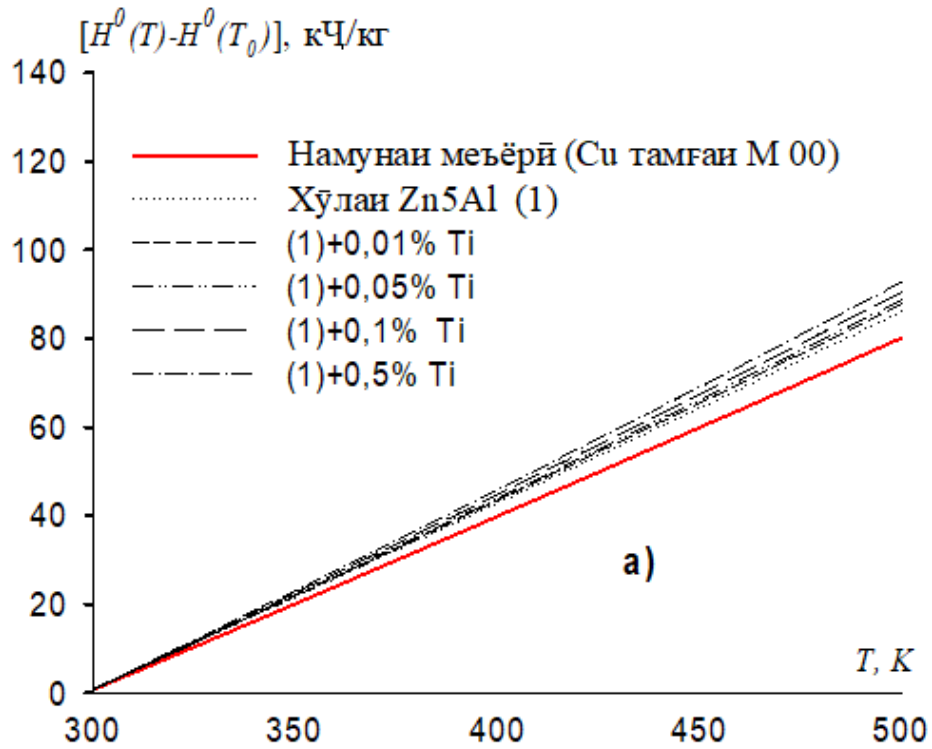
\* $T_0 = 298,15\text{K}$ .



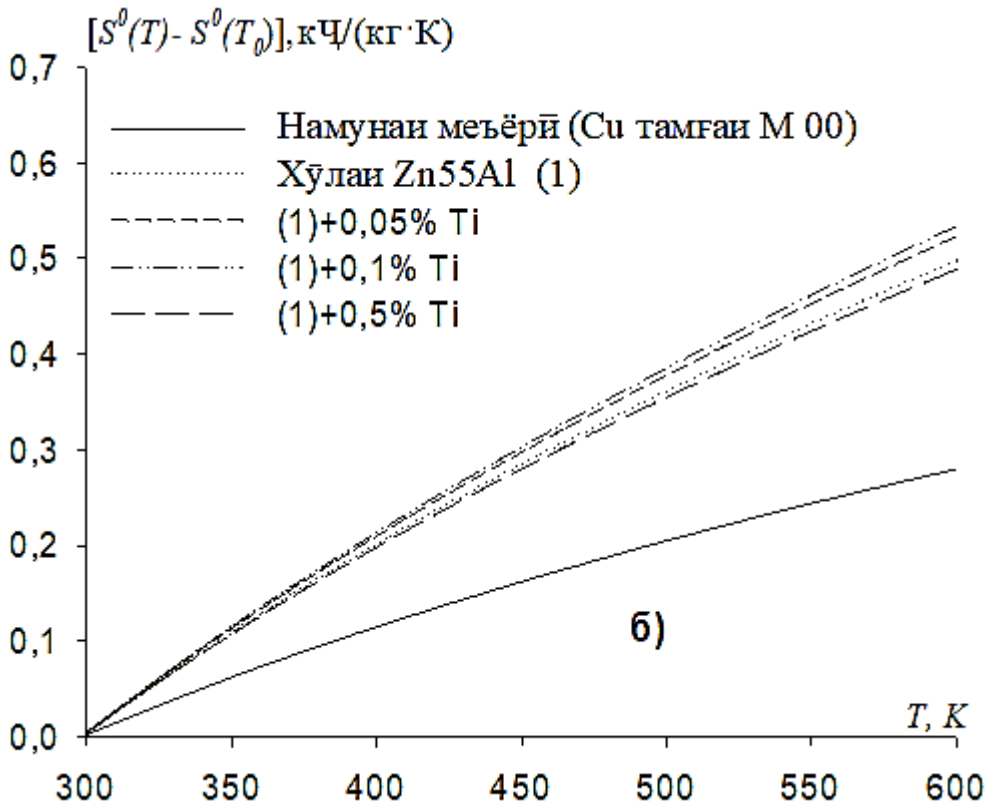
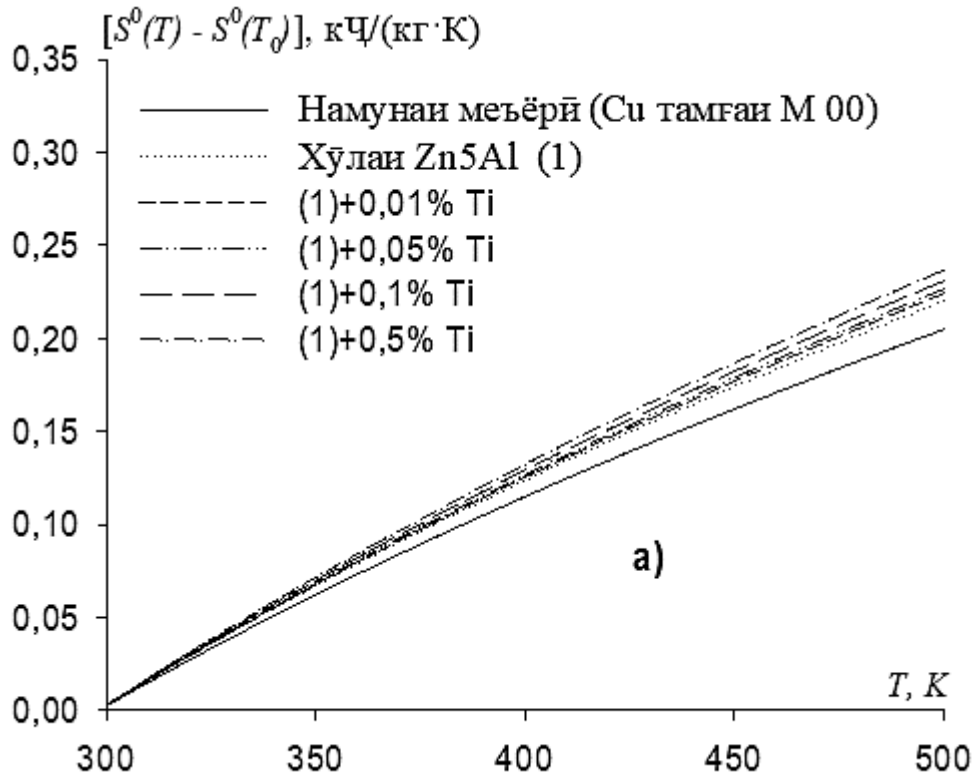
**Ҷадвали 2.7** – Вобастагии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғай M00) аз ҳарорат [1-A, 14-A, 16-A]

T, K	Намунаи меъёрӣ	Хӯлаи Zn55Al (2)	(2)+	(2)+	(2)+	(2)+
			0,01% Ti	0,05% Ti	0,1% Ti	0,5% Ti
$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо						
300	0,711986	1,246724	1,234382	1,301947	1,1402	0,711986
350	20,13154	35,28014	34,92796	36,93318	31,96559	20,13154
400	39,8675	69,99668	69,29176	73,4777	62,76295	39,8675
450	59,88805	105,4404	104,3687	111,0092	93,45109	59,88805
500	80,16671	141,6535	140,1997	149,5859	123,9306	80,16671
550	100,6823	178,676	176,8239	189,2509	154,0838	100,6823
600	121,419	216,5461	214,2786	230,0317	183,7749	121,419
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кҶ/(кг · K) барои хӯлаҳо						
300	0,002381	0,004169	0,113164	0,004385	0,004095	0,002381
350	0,062238	0,109068	0,209917	0,11509	0,107114	0,062238
400	0,114937	0,201762	0,297529	0,213585	0,198114	0,114937
450	0,162092	0,285238	0,378018	0,302929	0,280033	0,162092
500	0,204819	0,361532	0,452819	0,385177	0,354874	0,204819
550	0,243922	0,432092	0,522988	0,461765	0,424061	0,243922
600	0,280006	0,497984	0,533728	0,533728	0,488642	0,280006
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо						
300	-0,0022	-0,00386	-0,05932	-0,0136	-0,08818	-0,0022
350	-1,65181	-2,89365	-4,6796	-3,3482	-5,52431	-1,65181
400	-6,10716	-10,7081	-14,675	-11,9564	-16,4827	-6,10716
450	-13,0534	-22,9167	-29,5194	-25,309	-32,564	-13,0534
500	-22,2427	-39,1125	-48,8095	-43,0026	-53,5064	-22,2427
550	-33,475	-58,9746	-72,2267	-64,7199	-79,1495	-33,475
600	-46,5847	-82,2441	-99,5143	-90,2049	-109,41	-46,5847

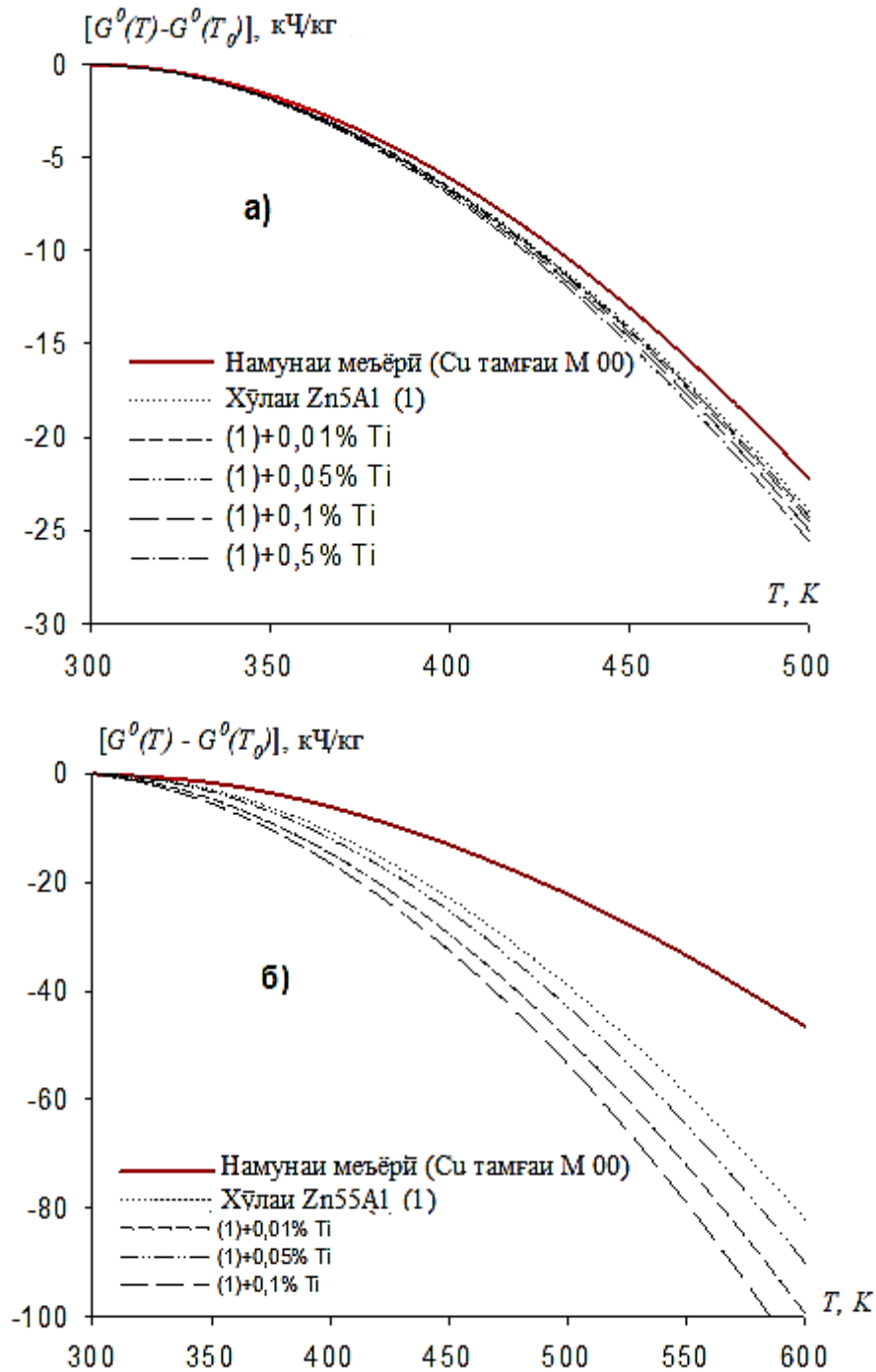
\*  $T_0 = 298,15\text{K}$ .



**Расми 2.13** – Вобастагии ҳароратии тағйирёбии энталпияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан [1-А, 14-А, 16-А]



**Расми 2.14** – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии энтропияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан [1-А,14-А,16-А]

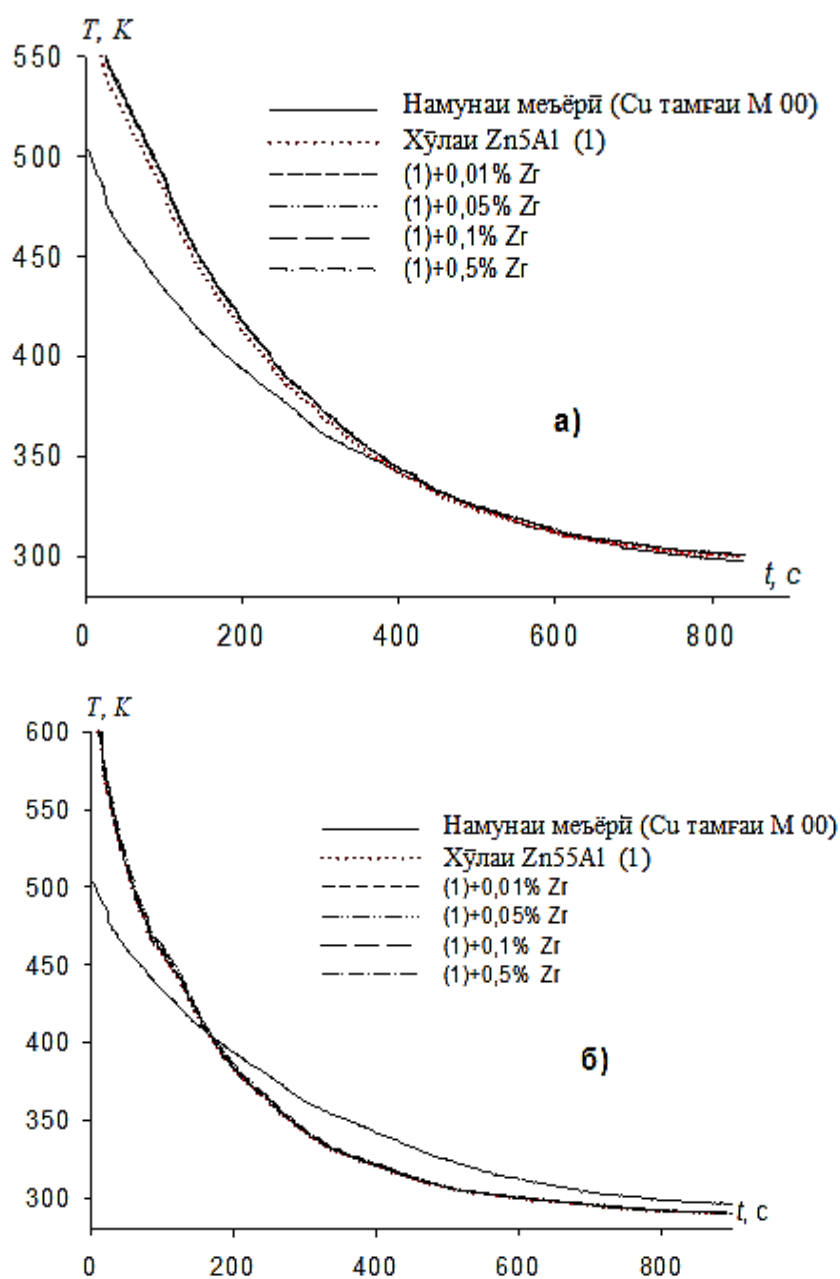


**Расми 2.15** – Тағйирёбии энергияи Гиббси хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо титан аз ҳарорат [1-А,14-А,16-А]

Дар умум тадқиқоти гузаронидашуда нишон дод, ки гармиғунҷоиши нисбӣ, энтропия ва энталпияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ҳангоми зиёд шудани ҳарорат меафзояд, бузургии энергияи Гиббс бошад, кам мешавад. Ҳангоми бо титан ҷавҳаронидани хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминӣ гармиғунҷоиш меафзояд.

## 2.4. Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al бо сирконий

Аз рӯйи методикаи дар фасли 2.1 тавсифгардида қачхатаҳои вобастагии ҳарорати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al, ки бо сирконий ҷавҳаронида шудаанд, аз вақт гирифта шудааст, ки дар расми 2.16 пешниҳод гаштаанд.

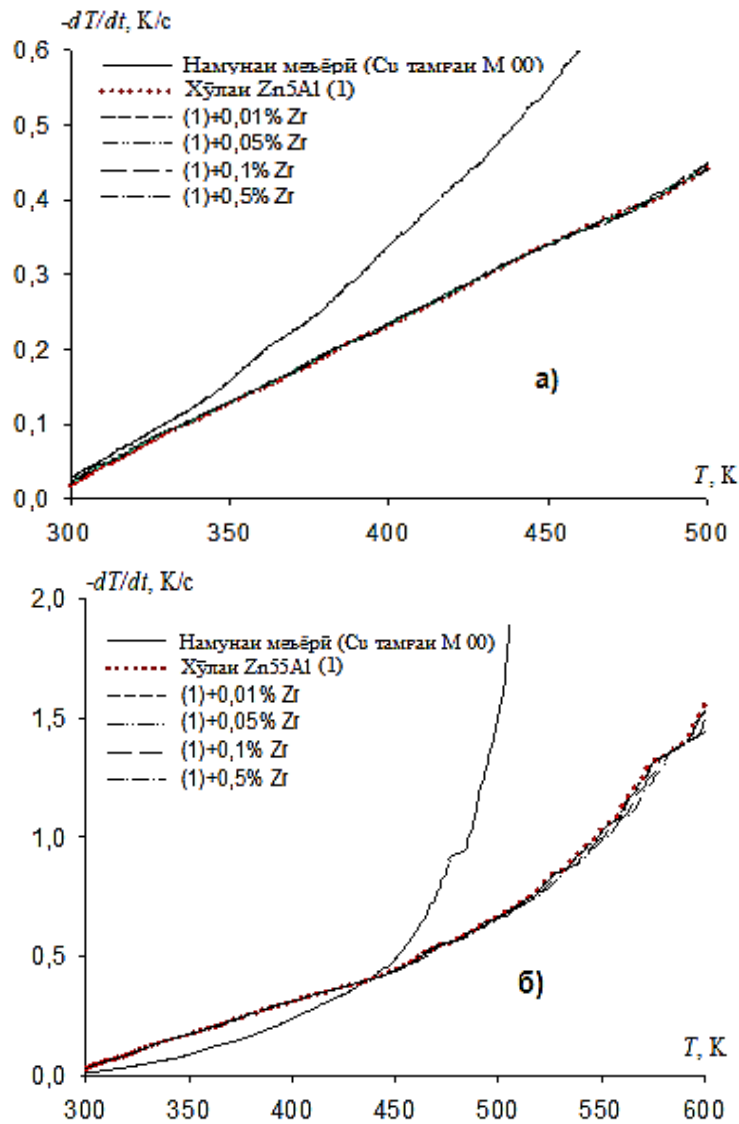


**Расми 2.16** – Қачхатаҳои вобастагии ҳароратии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий аз вақти хунукшавӣ [2-А,12-А,13-А]

Дар расми 2.17 вобастагии суръати хунукшавии намунаҳои бо сирконий чавҳаронидашудаи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al нишон дода шудааст.

Суръати хунукшавии хӯлаҳо ро мо бо муодилаи (2.9) ҳисоб карда будем. Қимати коэффитсиентҳои  $\Delta T_{01}$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_{02}$ ,  $t_2$  –и муодилаи (2.11) дар чадвали 2.8 барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи тадқиқшаванда пешниҳод гаштаанд.

Барои ҳисоб кардани гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий чавҳаронидашуда қиматҳои суръати хунукшавии намунаҳо аз рӯи муодилаи (2.9) истифода бурда шуда буданд.



**Расми 2.17** – Вобастагии ҳароратии суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий [2-А,12-А,13-А]

**Чадвали 2.8** – Қиматҳои коэффициентҳои  $\Delta T_1$ ,  $t_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $t_2$  -и муодилаи (2.9) барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) [2-А,12-А,13-А].

Миқдори сирконий дар хӯлаҳо, %-и вазн	$T_1-T_0$ , К	$t_1$ , с	$T_2-T_0$ , К	$t_2$ , с	$(T_1-T_0)/\tau_1$ , К/с	$(T_2-T_0)/\tau_2$ , К/с	$T_0$ , К
Хӯлаи Zn5Al	143,12	234,33	143,39	234,33	0,6107	0,6119	290,56
0,01	147,40	235,16	147,88	235,16	0,6269	0,6289	290,72
0,05	148,76	235,97	148,13	235,97	0,6305	0,6277	290,37
0,1	148,20	235,31	148,99	235,31	0,6298	0,6332	290,77
0,5	148,97	235,99	149,24	235,99	0,6312	0,6324	290,51
хӯлаи Zn55Al	57,04	20,70	290,44	180,01	2,7552	1,6135	288,43
0,01	57,32	20,70	291,89	180,01	2,7689	1,6216	288,51
0,05	57,50	20,70	292,77	180,01	2,7772	1,6264	288,56
0,1	58,18	20,70	296,25	180,01	2,8103	1,6458	288,74
0,5	58,87	20,70	299,74	180,01	2,8433	1,6652	288,92
Намунаи меъёрӣ	18,42	19,19	208,99	316,11	0,9595	0,6612	281,98

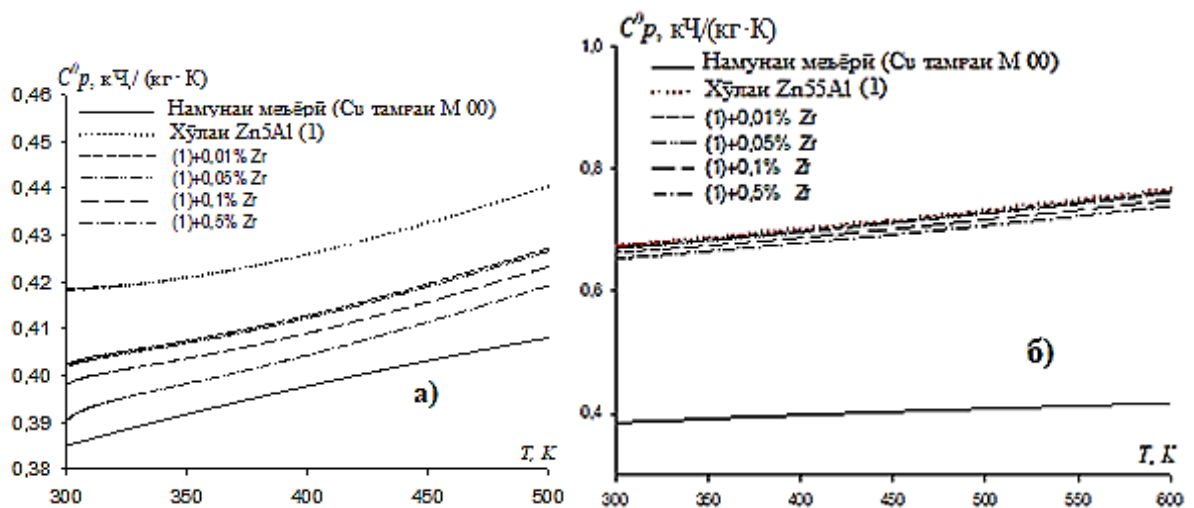
Бо истифода бурдани барномаи *Sigma Plot* ва муодилаи (2.9) коэффициентҳои дар зер овардашуда барои полиномҳои (2.10), ки вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, Zn55Al ва хӯлаҳо бо сирконийро тавсиф менамоянд, ба даст оварда шуда буданд. Қимати коэффициентҳои муодилаи (2.10) дар чадвали 2.9 пешкаш гардидаанд.

Қиматҳои ҳисобкардашудаи  $C_p^0$  барои намунаҳо аз хӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашудаи Zn5Al ва Zn55Al баъд аз ҳар 50К дар чадвали 2.10 ва дар расми 2.18 пешниҳод шудаанд.

Ҳангоми ҳисоби вобастагии ҳароратии тағйирёбии энтропия, энталпия ва энергияи Гиббс мутобиқ ба муодилаҳои (2.12) - (2.14) интегралҳо аз гармиғунҷоиши нисбӣ аз рӯйи (2.10) истифода бурда шуданд. Натиҷаҳои ҳисоби тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий ҷавҳаронидашуда баъд аз 50К дар расмҳои 2.20–2.22 ва дар чадвалҳои 2.11 ва 2.12 пешниҳод шудаанд.

**Ҷадвали 2.9** – Қимати коэффитсиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  –и муодилаи (2.10) барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00)

Миқдори сирконий дар хӯлаҳо, %-и вазн	$a$ , Ҷ/(кг·К)	$b \cdot 10^{-4}$ , Ҷ/(кг·К <sup>2</sup> )	$c \cdot 10^{-7}$ , Ҷ/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-10}$ , Ҷ/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффиенти коррелятсия R <sup>2</sup>
Хӯлаи Zn5Al	0,4916	-5,90	14,2	-8,90	0.999
0,01	0,4091	-1,35	4,43	-2,01	0.999
0,05	0,4068	-1,24	4,20	-1,87	0.999
0,1	0,3956	-6,52	2,94	-9,82·10 <sup>-11</sup>	0.999
0,5	0,3395	2,78	-4,22	4,04	0.999
Хӯлаи Zn55Al	0,6160	1,28	2,35	-0,522·10 <sup>-11</sup>	0.999
0,01	0,6131	1,27	2,31	-0,512·10 <sup>-11</sup>	0.999
0,05	0,6114	1,27	2,29	-0,506·10 <sup>-11</sup>	0.999
0,1	0,6436	-1,21	7,29	-3,94	0.999
0,5	0,6047	8,01	2,98	-0,996·10 <sup>-11</sup>	0.999
Намунаи меъёрӣ	0,325	2,75	-2,87	1,42	1.00



**Расми 2.18** – Вобастагии гармиғунҷоиши нисбӣ аз ҳарорат барои хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий [2-А,12-А,13-А].

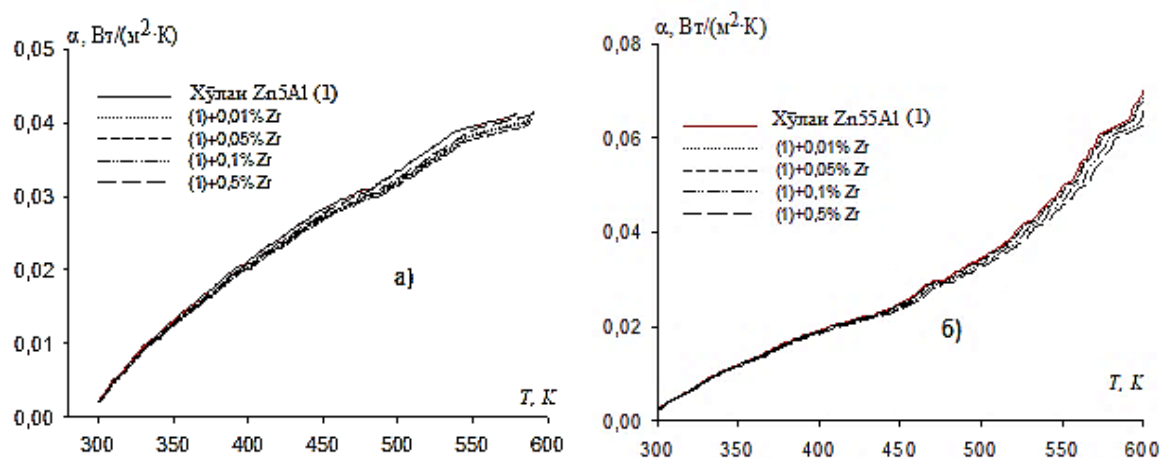


**Чадвали 2.10** – Вобастагии гармиғунҷоиши нисбии (кҶ/(кг·К))

хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) аз ҳарорат [2-А,12-А,13-А].

Микдори сирконий дар хӯлаҳо, %-и вазн	Т, К				
	300	350	400	450	500
Хӯлаи Zn5Al	0,4184	0,4209	0,4258	0,4325	0,4404
0,01	0,4030	0,4075	0,4131	0,4197	0,4272
0,05	0,4024	0,4068	0,4124	0,4190	0,4264
0,1	0,3998	0,4046	0,4103	0,4168	0,4242
0,5	0,3958	0,4024	0,4091	0,4160	0,4235
Хӯлаи Zn55Al	0,9053	1,4461	2,1598	3,0744	4,2177
0,01	0,9038	1,4433	2,1553	3,0676	4,2080
0,05	0,8918	1,4227	2,1233	3,0209	4,1428
0,1	0,8771	1,4007	2,0916	2,9767	4,0831
0,5	0,8412	1,3444	2,0084	2,8589	3,922
Намунаи меъёрӣ	0,3849	0,3916	0,3976	0,4030	0,4080

Ғайр аз ин, дар асоси маълумоти ҳисобии гармиғунҷоиш ва қиматҳои ба тариқи таҷрибавӣ ба даст овардашудаи суръати хунукшавии намунаҳо аз хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо сирконий вобастагии коэффитсиенти гармидиҳӣ ( $\alpha$ , Вт/К·м<sup>2</sup>) аз ҳарорат ҳисоб карда шуда буданд. Дар расми 2.19 натиҷаҳои ҳисобҳо нишон шудаанд.

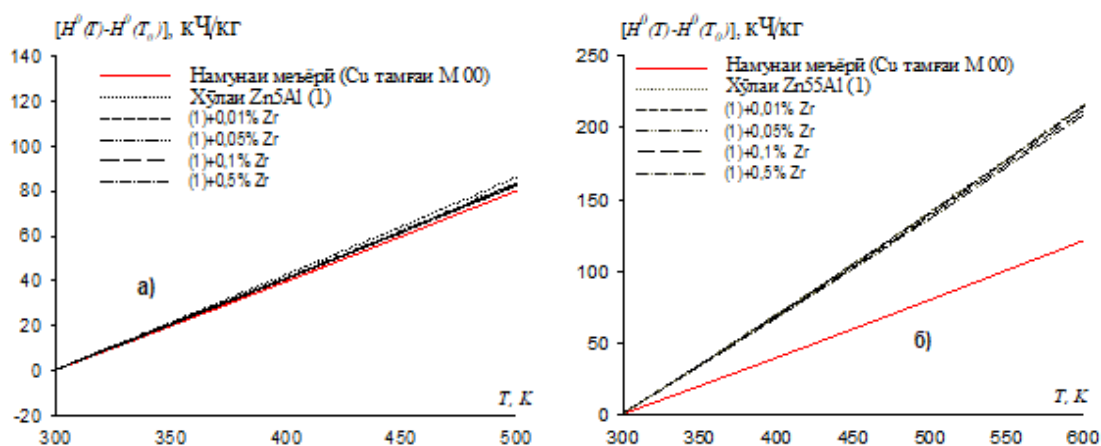


**Расми 2.19** – Вобастагии ҳароратии коэффитсиенти гармидиҳии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий чавҳаронидашуда [2-А,12-А,13-А].

**Ҷадвали 2.11** – Вобастагии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) аз ҳарорат [2-А,12-А,13-А].

T, K	Намунаи меъёрӣ	Хӯлаи Zn5Al (1)	(1)+ 0,01% Zr	(1)+ 0,05%Zr	(1)+ 0,1% Zr	(1)+ 0,5%Zr
$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо						
300	0,71198	0,773949	0,745499	0,744217	0,739575	0,732016
350	20,1315	21,74397	21,00392	20,96885	20,84628	20,68758
400	39,8675	42,90353	41,51479	41,44609	41,21395	40,97114
450	59,8880	64,35731	62,33234	62,22835	61,88848	61,59062
500	80,1667	86,17662	83,50323	83,36102	82,91206	82,56905
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)], \text{кҶ/(кг} \cdot \text{K)}$ барои хӯлаҳо						
300	0,00238	0,002588	0,002493	0,002488	0,002473	0,002448
350	0,06223	0,067234	0,064941	0,064832	0,064453	0,063957
400	0,11493	0,123736	0,119709	0,119511	0,118839	0,118115
450	0,16209	0,174266	0,168741	0,168459	0,167533	0,166678
500	0,20481	0,220236	0,213345	0,212984	0,211828	0,210875
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)], \text{кҶ/кг}$ барои хӯлаҳо						
300	-0,0022	-0,0024	-0,00231	-0,0023	-0,00229	-0,00226
350	-1,6518	-1,78782	-1,72538	-1,72248	-1,71219	-1,69729
400	-6,1071	-6,59073	-6,36898	-6,35836	-6,32156	-6,27503
450	-13,053	-14,0623	-13,601	-13,5784	-13,5015	-13,4145
500	-22,242	-23,9416	-23,1695	-23,1308	-23,0018	-22,8684

\* $T_0 = 298,15\text{K}$ .

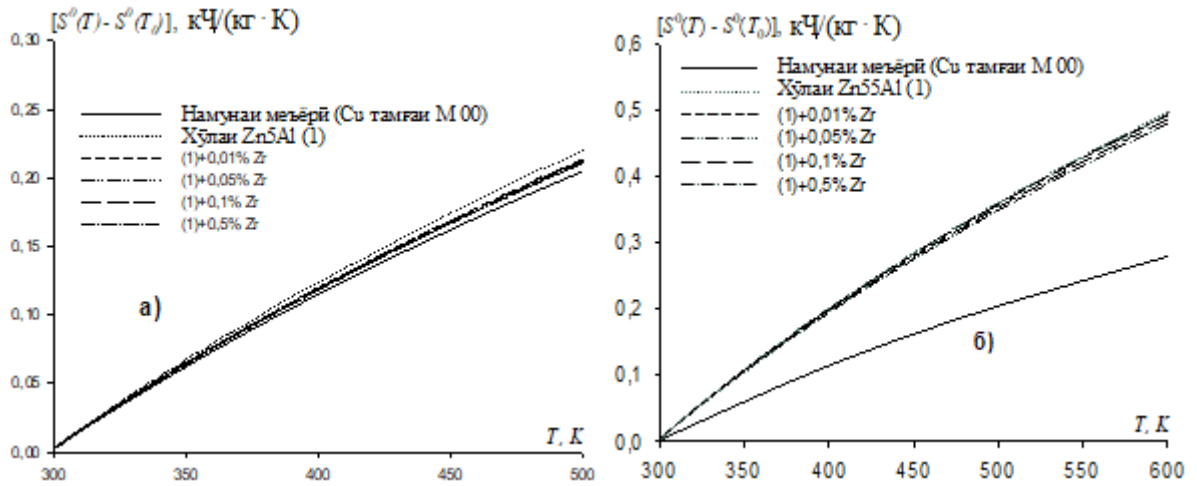


**Расми 2.20** – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии энталпияи хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий [2-А,12-А,13-А].

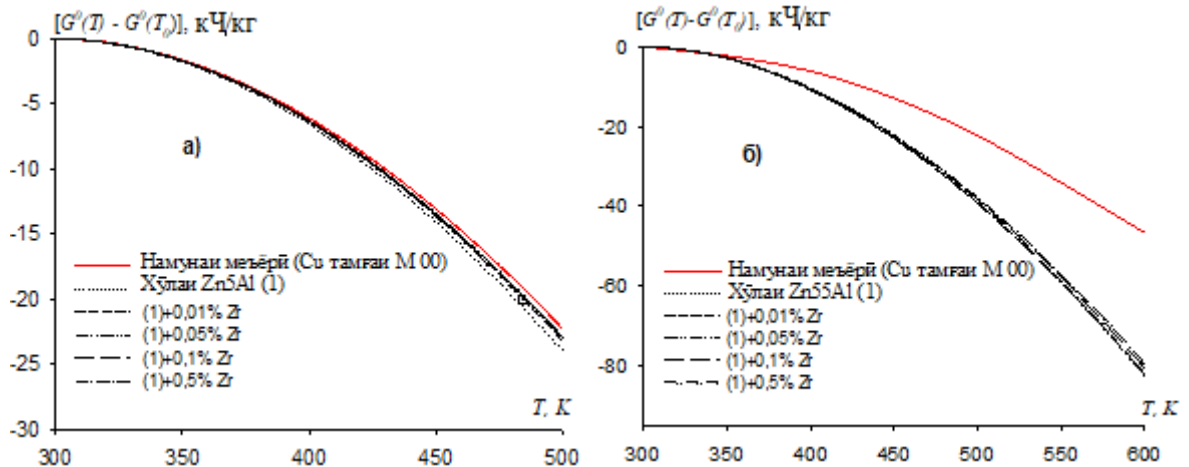
**Ҷадвали 2.12** – Вобастагии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий ва намунаи меъёрӣ (Cu тамғаи M00) аз ҳарорат [2-А,12-А,13-А]

T, K	Намунаи меъёрӣ	Хӯлаи Zn55Al (2)	(2)+ 0,01% Zr	(2)+ 0,05% Zr	(2)+ 0,1% Zr	(2)+ 0,5% Zr
	[ $H^0(T) - H^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо					
300	0,711986	1,246724	1,240194	1,236747	1,224845	1,207396
350	20,13154	35,28014	35,09292	34,99492	34,61595	34,14897
400	39,8675	69,99668	69,62019	69,42471	68,61709	67,72048
450	59,88805	105,4404	104,8654	104,5691	103,2997	101,9684
500	80,16671	141,6535	140,8699	140,4693	138,7204	136,9355
550	100,6823	178,676	177,6732	177,1644	174,9212	172,6608
600	121,419	216,5461	215,313	214,6918	211,9291	209,1795
[ $S^0(T) - S^0(T_0^*)$ ], кҶ/(кг · K) барои хӯлаҳо						
300	0,002381	0,004169	0,004147	0,004135	0,004095	0,004037
350	0,062238	0,109068	0,108489	0,108186	0,107018	0,105572
400	0,114937	0,201762	0,200678	0,200115	0,197803	0,19521
450	0,162092	0,285238	0,283687	0,282886	0,279487	0,27587
500	0,204819	0,361532	0,359541	0,358521	0,354112	0,34954
550	0,243922	0,432092	0,429684	0,428457	0,423106	0,417628
600	0,280006	0,497984	0,495175	0,493753	0,487498	0,481168
[ $G^0(T) - G^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо						
300	-0,0022	-0,00386	-0,00384	-0,00383	-0,00379	-0,00374
350	-1,65181	-2,89365	-2,87836	-2,87034	-2,8404	-2,8014
400	-6,10716	-10,7081	-10,6511	-10,6213	-10,5042	-10,3635
450	-13,0534	-22,9167	-22,7937	-22,7297	-22,4696	-22,1733
500	-22,2427	-39,1125	-38,9008	-38,7913	-38,3356	-37,8344
550	-33,475	-58,9746	-58,6528	-58,4871	-57,7872	-57,0344
600	-46,5847	-82,2441	-81,7918	-81,5598	-80,5697	-79,5215

\* $T_0 = 298,15\text{K}$ .



**Расми 2.21** – Вобастагии ҳарорати тағйирёбии энтропияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий [2-А,12-А,13-А].



**Расми 2.22** – Тағйирёбии энергияи Гиббси хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) ва Zn55Al (б) бо сирконий аз ҳарорат [2-А,12-А,13-А]

Тадқиқоти гузаронидашуда нишон дод, ки гармиғунҷоиши нисбӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бо зиёд шудани ҳарорат меафзоянд, қимати энергияи Гиббс бошад, паст мешавад. Бо сирконий ҷавҳаронидани хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al гармиғунҷоишро баланд мебардорад [2-А,12-А,13-А].

## 2.5. Хулоса ба боби II

Дар рисола муайян кардани гармиғунҷоиши хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий дар речаи «хунукшавӣ» аз рӯйи гармиғунҷоиши маълуми намунаи меъёрии мисӣ муайян карда шудааст. Бо ёрии вобастагиҳои полиномии ба даст овардашуда нишон дода шудааст, ки гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳо меафзоянд, бузургии энергияи Гиббс бошад, паст мешавад.

Натиҷаҳои тадқиқоти гармиғунҷоиши нисбӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al, ки миқдори 0,5 %-и вазн титан ва сирконий дорад (барои муқоиса), дар ҷадвалҳои 2.13 ва 2.14 нишон дода шудаанд.

**Ҷадвали 2.13** – Вобастагии гармиғунҷоиши нисбии (Ҷ/(кг·К)) хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ва сирконий аз ҳарорат [2-А,12-А,13-А]

Т, К	Zn5Al	Zn5Al+0,5 Ti	Zn5Al+0,5 Zr	Иловаҳо	
				Ti [116]	Zr [117]
300	418,41	441,55	395,86	530,81	278,84
350	420,93	450,82	402,45	543,13	287,15
400	425,82	459,64	409,17	555,31	295,32
450	432,53	468,61	416,08	563,72	302,14
500	440,44	478,75	423,52	576,27	308,80

Чӣ тавре ки аз ҷадвалҳои 2.13 ва 2.14 дида мешавад, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо зиёдшавии ҳарорат меафзоянд, бузургии энергияи Гиббс бошад, кам мешавад.

Иловаҳои титан ва сирконий ба таркиби хӯлаи Zn5Al ба зиёдшавии гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропия, ва камшавии бургии энергияи Гиббси хӯлаҳо оварда мерасонанд (ҷадвалҳои 2.13, 2.14) [2-А,12-А,13-А].

**Чадвали 2.14** – Вобастагии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи  $Zn_5Al$  бо титан ва сирконий аз ҳарорат [2-A,12-A,13-A].

T, K	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо		
	Zn <sub>5</sub> Al	Zn <sub>5</sub> Al + 0,5 Ti	Zn <sub>5</sub> Al + 0,5 Zr
300	0,773949	0,816532	0,732016
350	21,74397	23,12857	20,68758
400	42,90353	45,88799	40,97114
450	64,35731	69,0899	61,59062
500	86,17662	92,7664	82,56905
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кҶ/(кг · К) барои хӯлаҳо		
300	0,002588	0,00273	0,002448
350	0,067234	0,07150	0,063957
400	0,123736	0,13226	0,118115
450	0,174266	0,18691	0,166678
500	0,220236	0,23679	0,210875
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо		
300	-0,0024	-0,00253	-0,00226
350	-1,78782	-1,89651	-1,69729
400	-6,59073	-7,01967	-6,27503
450	-14,0623	-15,0216	-13,4145
500	-23,9416	-25,6319	-22,8684

Ҳангоми гузаштан аз хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминий ба хӯлаҳои бо титан чавҳаронидашуда бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо меафзояд, сипас ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои бо титан ба хӯлаҳои бо сирконий чавҳаронидашуда бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо кам мешавад, ки бо маълумоти адабиётӣ барои металлҳои тозаи гурӯҳи IV-уми чадвали даврӣ (Ti, Zr) мувофиқат менамояд (чадвали 2.13).

Дар ҷадвалҳои 2.15 ва 2.16 натиҷаҳои тадқиқоти гармиғунҷоиши нисбӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al, ки миқдори 0,5 %-и вазн -и титан ва сирконий дорад, пешниҳод гардидааст.

**Ҷадвали 2.15** – Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши нисбии (Ҷ/(кг·К)) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ва сирконий [2-А,12-А,13-А]

Т, К	Zn55Al	Zn55Al+0,5Ti	Zn55Al+0,5Zr	Иловаҳо	
				Ti [116]	Zr [117]
300	674,13	691,04	652,97	530,81	278,84
350	687,32	708,51	665,05	543,13	287,15
400	701,54	726,93	678,04	555,31	295,32
450	716,43	746,12	692,08	563,72	302,14
500	732,21	766,14	706,84	576,27	308,80
550	748,83	786,91	722,32	590,48	315,00
600	766,15	808,33	738,53	604,70	321,20

Бузургии гармиғунҷоиши хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al ҳангоми гузаштан ба хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда зиёд мешавад, баъдан ҳангоми аз хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда ба хӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо паст мешавад, ки ин ҳолат бо маълумоти адабиётӣ барои металлҳои тозаи гурӯҳи IV-уми ҷадвали даврӣ (Ti, Zr) мувофиқат менамояд (ҷадвали 2.15). Бузургии энталпия ва энтропияи хӯлаҳо ҳангоми гузаштан аз хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al ба хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда меафзояд, сипас баъди гузаштан аз хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда ба хӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда кам мешавад, бузургии энергияи Гиббс бошад, зиёд мешавад (ҷадвали 2.16).

Барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда инчунин вобастагиҳои (ҷадвалҳои 2.15, 2.16) дар боло овардашуда хос мебошанд. Муқоисаи бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминий нишон медиҳанд, ки гармиғунҷоиши нисбии хӯлаи

рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al назар ба хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al баландтар мебошад (ҷадвалҳои 2.13, 2.15) [1-А,2-А,12-А,13-А,14-А, 16-А].

**Ҷадвали 2.16** – Вобастагии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ва сирконий аз ҳарорат [1-А,2-А,12-А,13-А,14-А, 16-А]

Т, К	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо		
	Zn55Al	Zn55Al + 0,5 Ti	Zn55Al + 0,5 Zr
300	1,24672	1,1402	1,20739
350	35,2801	31,9655	34,1489
400	69,9966	62,7629	67,7204
450	105,440	93,4510	101,968
500	141,653	123,930	136,935
550	178,676	154,083	172,660
600	216,546	183,774	209,179
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кҶ/(кг · К) барои хӯлаҳо		
300	0,00416	0,00409	0,00403
350	0,10906	0,10711	0,10557
400	0,20176	0,19811	0,19521
450	0,28523	0,28003	0,27587
500	0,36153	0,35487	0,34954
550	0,43209	0,42406	0,41762
600	0,49798	0,48864	0,48116
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо		
300	-0,00386	-0,08818	-0,00374
350	-2,89365	-5,52431	-2,8014
400	-10,7081	-16,4827	-10,3635
450	-22,9167	-32,5640	-22,1733
500	-39,1125	-53,5064	-37,8344
550	-58,9746	-79,1495	-57,0344
600	-82,2441	-109,410	-79,5215

Энталпия ва энтропия бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашудаи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо қадри гузариш аз хӯлаҳои бо



титан чавҳаронидашуда ба хӯлаҳои бо сирконий чавҳаронидашуда зиёд мешаванд, бузургии энергияи Гиббс бошад, кам мешавад (ҷадвалҳои 2.14 ва 2.16).

Зиёдшавии коэффитсиенти гармидиҳӣ, гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ аз дараҷаҳои ғилзат (микдор)-и титан ва сирконий, ки таъсири тағйирдиҳӣ (модификатсия)-и онҳо ба сохти хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ мерасад, алоқамандӣ доранд, ки ба тағйирёбии таркиби дохилии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn_5Al$  ва  $Zn_{55}Al$  вобаста мебошад, яъне бо афзудани дараҷаи гетерогении хӯлаҳои сегона [118-119].

## **БОБИ III. КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАҲОИ РҶҲҶ- АЛЮМИНИИ $Zn5Al$ ВА $Zn55Al$ БО ТИТАН ВА СИРКОНИИ**

### **3.1. Методикаи тадқиқоти кинетикаи оксидшавии металлҳо**

#### **ва хҶлаҳои онҳо**

Омӯзиши кинетикаи раванди оксидшавии металлҳо ва хҶлаҳои саҳт бо усули термогравиметрӣ бо истифода бурдани таҷҳизоте, ки оид ба принципи кориаш дар корҳои [120-126] маълумот оварда шудааст, гузаронида шуд. Схекаи таҷҳизот дар расми 3.1 оварда шудааст.

Таҷҳизот аз оташдони Таммана (1) бо ҷилди аз оксиди алюминий (2), ки барои ба вуҷуд овардани ҳавои назоратӣ зарур аст, иборат мебошад. Интиҳои болоии ҷилд бо сарпӯшҳои бо об хунукшаванда (7) маҳкам карда мешавад, ки сӯрохиҳо барои найчаи газгузаронӣ (3) ҷой доранд, термopара (5) ва бӯта (4) бо намуна барои тадқиқот дар риштаи платинагӣ (6) ба пружинаи аз сими молибденӣ (12) иборатбуда овезон карда шудаанд [126].

Пешакӣ пружинаи калибркунонидашударо дар баллони аз шишаи молибденӣ (11) бо сарпӯши соида тикқонидашуда (14) ҷой кардем. Барои рӯй надодани ларзиш ва ҷунбидан ҷилд бо пружина ба такяи (13) бо оташдон алоқаманднабуда саҳт карда мешавад. Барои муҳофизати тарозу аз афканишоти ҳарорат таҳт ва яҳдон (15) истифода бурдем, ки дар интиҳои поёнии баллони шишагӣ ҷой карда шуд.

Тағйирёбии вазро аз рӯйи дарозшавии пружина бо ёрии катетометри КМ-8 ба қайд гирифтем. Дар таҷрибаҳо бӯтаҳо аз оксиди алюминий бо қутрҳои 18-20 мм, баландии 25-26 мм истифода бурда шудаанд. Бӯтахоро пеш аз таҷрибаҳо зеро ҳарорати 1273-1473К дар муҳити оксидкунанда то муддати 1,5 соат барои вазни доимӣ ба даст овардан тафсонидем [126].

Бӯта (4) бо металли тадқиқшаванда дар минтакаи изотермикии оташдон ҷой карда шуд. Гармкунии металлро дар ҳавои атмосферӣ иҷро намудем. Зиёд кардани ҳароратро дар оташдон бо суръати 2-3К дар як дақиқа иҷро кардем.

Пеш аз гармгунии оташдон катетометрро ба нишондиҳандаи пружина муқаррар намудем, дар чадвал нуқтаи сарҳисобро навишта гирифтём ва дар муддати тафсидан тағйирёбии вазнро назорат кардем. Ҳангоми ба речаи додашуда ноил гаштан нуқтаи нави ҳисобиро навишта гирифтём. Тадқиқотро дар ҳавои атмосферӣ гузаронидем. Барои тоза кардани газҳои инертӣ аз буғҳои об таҷҳизоти аз зарфи Дрексел иборатбуда бо дараҷаи ғилзатии кислотаи сулфур ва зарфи шишагии Тищенко бо ишқори калийи (KOH) ғурӯшакардашуда истифода бурда шуд. Ғайр аз ин, дар баромад доми пастҳарорат гузоштем [120-126].

Барои тоза кардани аргон аз оксиген маҳлули моддаи сулфитии турши малғамаи рӯҳӣ истифода бурда шуд. Сарфи газро бо нишондоди реометр ба танзим даровардем. Ҳароратро бо термopарай навъи платинагӣ (5) санчидем, ки васли тафсонаш дар сатҳи ҳамвории хӯла мавқеъ буд. Термометрро ба чилди аз оксиди алюминий иборатбуда ҷой кардем. Барои бардавомии нишондоди ҳароратҳо васли хунукро дар зери ҳарорати 273 К бо ёрии нул – термостатаи тамғаи «Нуль-В» доимӣ намудем [121].

Кори оташдонро бо ёрии тиристорҳо ба танзим даровардем, ки нигоҳ доштани ҳарорати додашударо бо дақиқии  $\pm 2$  К имкон дод. Ба сифати асбоби батанзимдарорандаи ҳарорат милливольтметр истифода бурдем [122].

Баъди ба анҷом расидани таҷриба системаро хунук карда, бӯтаю мавҷуди таркибашро бар кашидем ва сатҳи реаксиониро муайян кардем. Сипас пардаи оксидии бавучудомадаро аз сатҳи намуна барои дар оянда бо усулҳои ИК- спектроскопӣ ва таҳлили рентгенофазӣ омӯхтани таркиби он ҷудо кардем [123].

Ҳатогии таҷриба аз ифодаи ибтидоии суръати доимии оксидшавӣ (K) метавонад ҳисоб карда шавад

$$K = g/s \cdot t \quad (3.1)$$

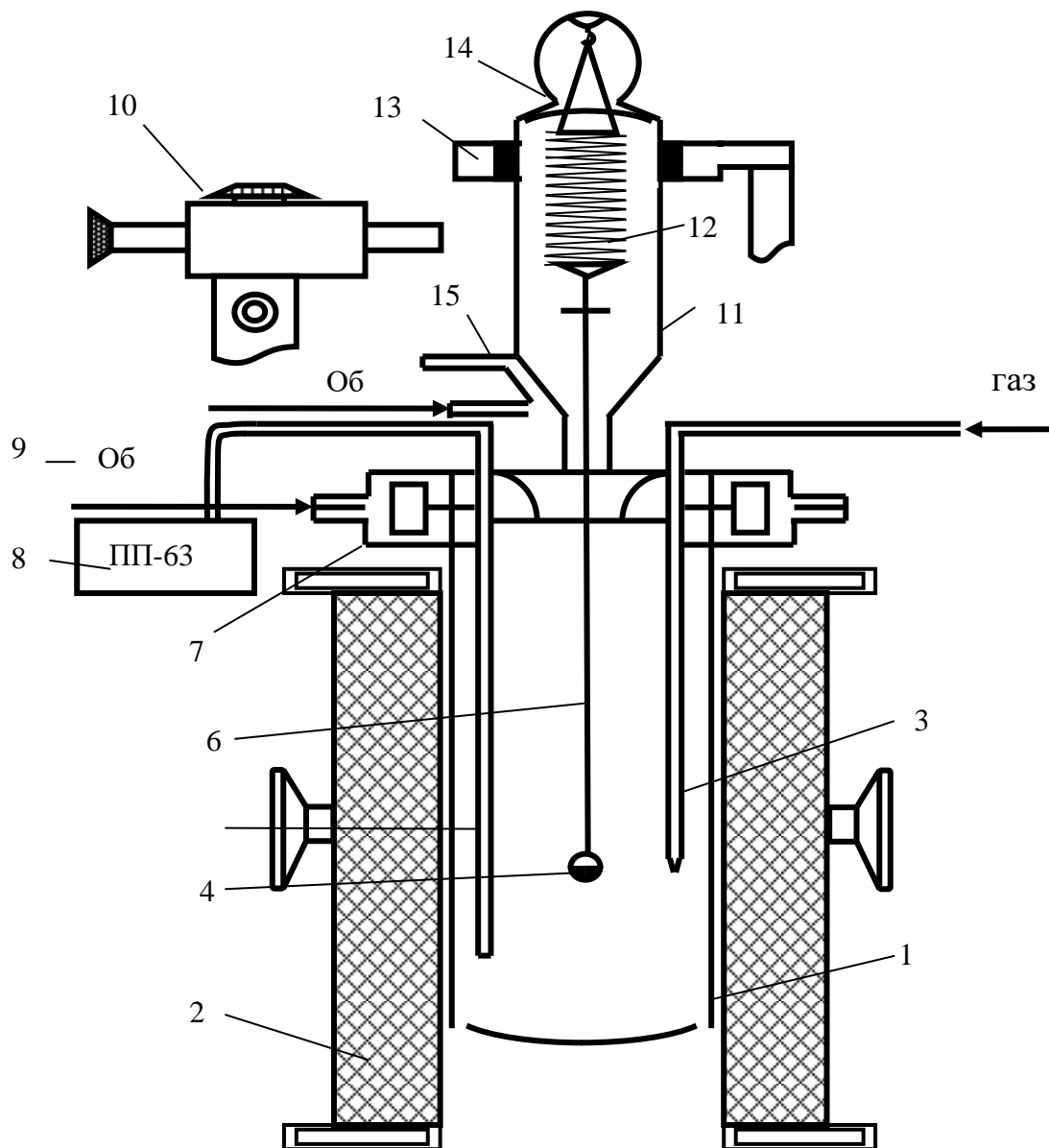
ки дар он: g -вазни металл, s-сатҳ, t -вақт (дақ).

Ҳатогии нисбӣ дар баҳодихӣ аз ҷамъи ҳатогихҳои нисбӣ иборат мегардад:

$$\Delta K/K = \Delta g/g = (\Delta s/s)^2 + \Delta t/t. \quad (3.2)$$

Ҳар як чамъшавандаро дар алоҳидагӣ дида мебароем. Дақиқии баркаширо бо ифодаи зерин муайян намудем:

$$\Delta g / g = \Delta G / 9.0 \cdot 100 + 0.0001_{m\epsilon} / 9.0 \cdot 100 + 0.0001_{TB} / 100 + \Delta L. \quad (3.3)$$



**Расми 3.1.** Схемаи таҷҳизот барои омӯختани кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо: 1-оташдони Таммана, 2-чилд аз оксиди алюминий, 3-найчаи газгузаронӣ, 4-бӯта, 5-термопара, 6-риштаи платинагӣ, 7-сарпӯши бо об хунукшаванда, 8-потенсиометр, 9-об, 10-катетометр, 11-чилд аз шишаи молибденӣ, 12-пружина аз сими молибденӣ, 13- тақя, 14-сарпӯш, 15-тахт ва яхдон [120-126].

Бузургии  $0,0001_{\text{ТВ}}$  – суръати ҷамъшавандаҳои дуҷум ва сеҷум мебошад, ки хатогиро ҳангоми баркашии намуна то ва баъди таҷриба дар тарозуи таҳлилий тавсиф менамояд,  $\Delta g$  – дақиқии баркашии тарозуи пружинӣ дар раванди таҷриба ё ҳассосии онҳо, ки бо роҳи калибркунонии тарозу ҳамроҳи овеза, риштаи платинагӣ ва бўта бо часпак муайян карда мешавад. Дар як вақт тарозу модули чандирии пружинаро ба доимӣ будан санҷид (шумораи печҳо  $W=20$ ).

Схемаи калибркунонӣ:  $m + a$

$$m + a + k\Delta h \quad (3.4)$$

$$m + 3a$$

$$m + 3a - k\Delta h \quad (3.5)$$

$$m + na$$

$$m + na - k\Delta h \quad (3.6)$$

дар ин ҷо:  $m$  – вазни ҳамаи система,  $k$  – иловаи доимӣ ( $0,020 \cdot 10^{-3}$  кг),  $\Delta h$  – зиёдшавии дарозии пружина, ки бо ёрии катетометри КМ-8 бо зарурии дараҷаи  $0,10 \cdot 10^{-3}$  м ба қайд гирифта мешавад. Аввали ҳисобро аз рӯи ҷойивазкунии нишона, ки дар охири поёни пружина саҳт карда шудааст, гузаронидем. Ҳассосии ( $\Delta G$ ) тарозуи дараҷабандӣ кардашуда бо схемаи овардашуда барои таъсири қувваҳои то  $15 \cdot 10^{-3}$  кг,  $0,0001 \cdot 10^{-3}$  кг –ро ташкил дод.  $\Delta L$  – хатогие, ки бухоршавии металлро дар раванди таҷриба ба назар мегирад. Барои ҳар як металл вай бузургии худро дорад ва бо тариқи зерин баҳо дода шуд: то ҳарорати зарурӣ металл тафсид ва дар муҳити аз оксиген тозакардашуда ва намии гази инертӣ нигоҳ дошта шуд, сипас аз рӯи фарқи вазни металл то ва баъди тафсонидан талафи вазни металлро муайян намудем [124].

Ҳисобкунии сатҳҳои муттаасиршуда бо ёрии катетометри КМ-8, ки худудҳои ченкунии  $0,0-0,5$  м дорад, гузаронида шуд. Ҳангоми дақиқии ченкунии  $\pm 0,000030$  м ва бо назардошти дағалии сатҳи хатогӣ  $\pm 1,9$  % -ро ташкил дод. Аъзои минбаъдаи  $\Delta t/t$  аз рӯи бузургии зерин камтар мебошад:

$$\Delta t/t = 1/3600 \cdot 100 = 0,027\% \quad (3.7)$$

ва ҳангоми ҳисобҳо метавонад ба инобат гирифта нашавад.

Ҳарорат бо термометраи навъи платинагӣ чен карда шуд, ки васли гармаш дар дараҷаи сатҳи хӯла ҷойгир аст. Саҳеҳии ченкунии ҳароратро баробар ба  $\pm 2$  К қабул кардем. Ин ҳангом хатогӣ дар ченкуниҳо ташкил дод:

$$\Delta T/T = 2 \cdot 100/900 = 0,22\% \quad (3.8)$$

Хатогии нисбии ҳисобкардашудаи таҷриба аз рӯи муодилаи (3.2) ташкил медиҳад:

$$\Delta g/g = (2.71)^2 + (1.5)^2 + 0.027 = 9,62\% [124]. \quad (3.9)$$

### **3.2. Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан, дар ҳолати сахтӣ [6-A, 17-A]**

Барои тадқиқоти таъсири титан ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи Zn5Al, серияи хӯлаҳо бо миқдори титан аз 0,01 то 0,5 %-и вазн синтез карда шуда буданд. Натиҷаҳои тадқиқот дар расмҳои 3.2-3.6 ва дар ҷадвали 3.1 оварда шудаанд.

Кинетикаи оксидшавии хӯлаи Zn5Al бо титанро дар ҳолати сахтӣ дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К (расми 3.2) тадқиқ намудем. Тавсифи қачхатаҳои кинетикӣ аз он шоҳидӣ медиҳанд, ки раванди таъсири мутақобили хӯла бо фазаи газӣ дар раванди диффузионӣ маҳдуд карда мешавад. Суръати оксидшавӣ вобаста аз ҳарорат аз  $2 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> ҳангоми 523 К то  $3,62 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> дар ҳарорати 623 К тағйир меёбад. Энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ 128,84 кҶ/мол –ро ташкил медиҳад [6-A, 17-A].

Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, бо 0,01 %-и вазни титан ҷавҳаронидашударо дар ҳароратҳои 523 К; 573 К ва 623 К омӯхтем. Раванди оксидшавӣ бо суръатҳои баланди ташаккулёбии пардаҳои оксидӣ тавсиф меёбад, ки дар 15-20 дақиқаҳо аз ибтидои оксидшавӣ ба анҷом мерасад ва дар 45-50 дақиқа гузаштан пурра ба охир мерасад [6-A, 17-A].

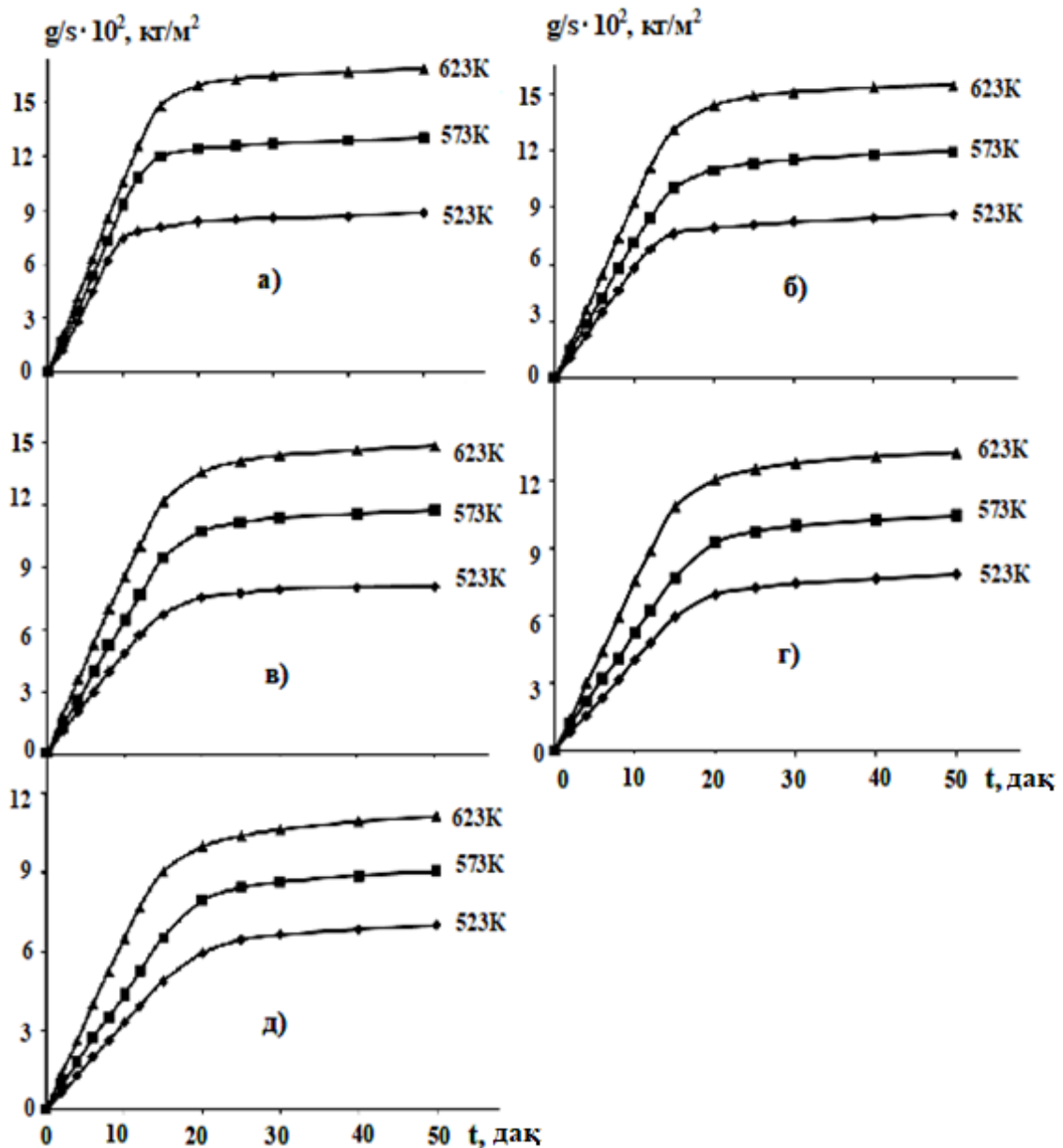
Ҳангоми ҳароратҳои баланд ташаккулёбии пардаҳои муҳофизатии оксидӣ тез ва бо миқдори камтарини ковоқиҳои оксигенӣ ба амал меоянд. Зиёдшавии максималӣ ҳангоми оксидшавӣ ба  $1,91 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>-2</sup> ҳангоми 523К ва  $3,53 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>-2</sup> ҳангоми 623К баробар мешавад. Энергияи фаъолшавии эҳтимоли 137,84 кҶ/мол –ро ташкил медиҳад (ҷадвали 3.1) [11-А].

**Ҷадвали 3.1.** – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ риванди оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан, дар ҳолати сахтӣ [6-А, 17-А]

Миқдори титан дар хӯлаи Zn5Al, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , кг·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	Энергияи фаъолшавии эҳтимоли, кҶ/мол
0,0	523К	2,10	128,84
	573К	2,71	
	623К	3,62	
0,01	523К	1,91	137,84
	573К	2,56	
	623К	3,53	
0,05	523К	1,77	144,06
	573К	2,44	
	623К	3,38	
0,1	523К	1,58	158,12
	573К	2,27	
	623К	3,26	
0,5	523К	1,34	179,90
	573К	2,03	
	623К	3,08	

Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки бо 0,05 %-и вазни титан ҷавҳаронида шудааст, нишон медиҳад, ки иловаҳои на он қадар зиёди титан

ба пастшавии суръати ҳақиқии оксидшавӣ ва мутобиқан зиёд шудани энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ то 179,90 кҶ/мол мусоидат менамояд. Бо афзудани ҳарорат аз 523К то 623К суръати оксидшавӣ аз  $1,77 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  то  $3,38 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  меафзояд [11-А]. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки миқдори 0,1 %-и вазни титан дорад, дар ҳароратҳои 523К, 573К, 623К тадқиқ намудем (расми 3.2 г).

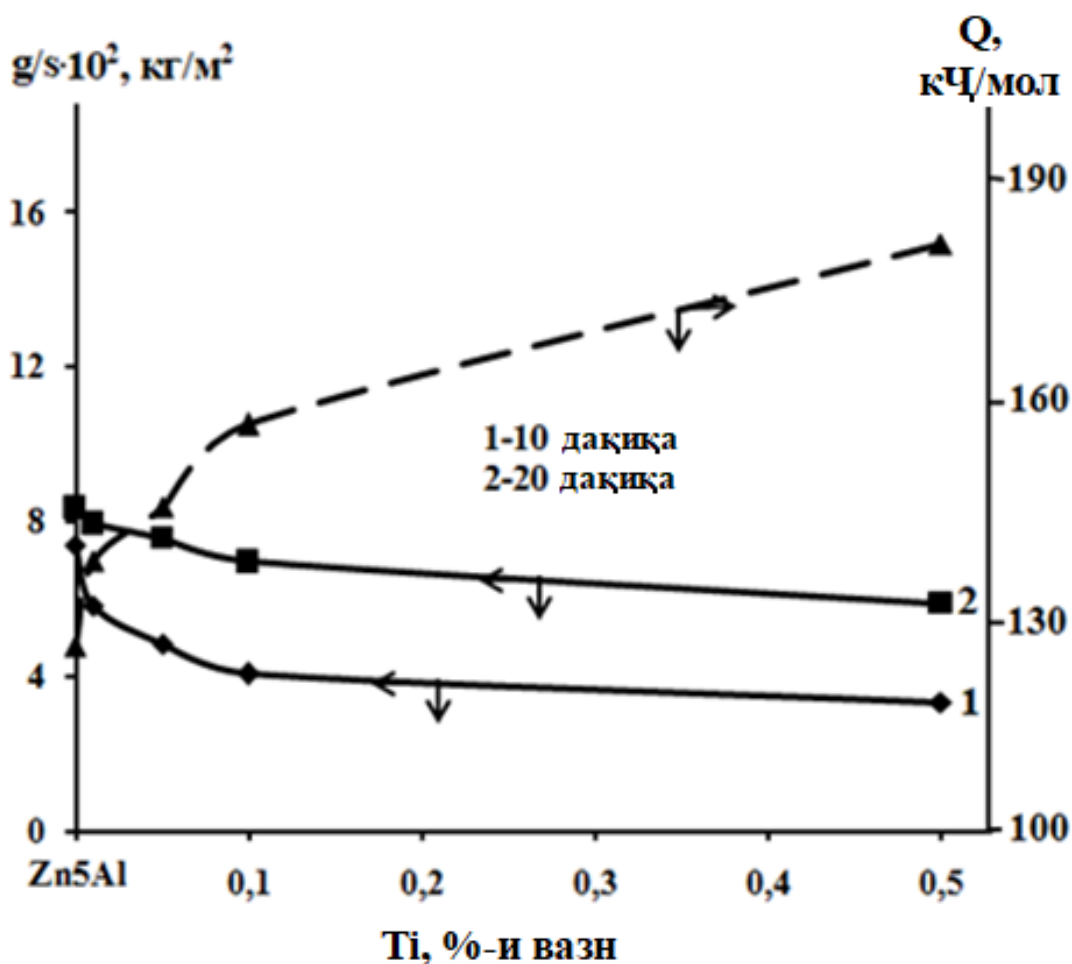


**Расми 3.2.** – Қачхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (а) бо титан, %-и вазн: 0,01(б); 0,05 (в); 0,1 (г); 0,5 (д), дар ҳолати сахтӣ [б-А, 17-А].



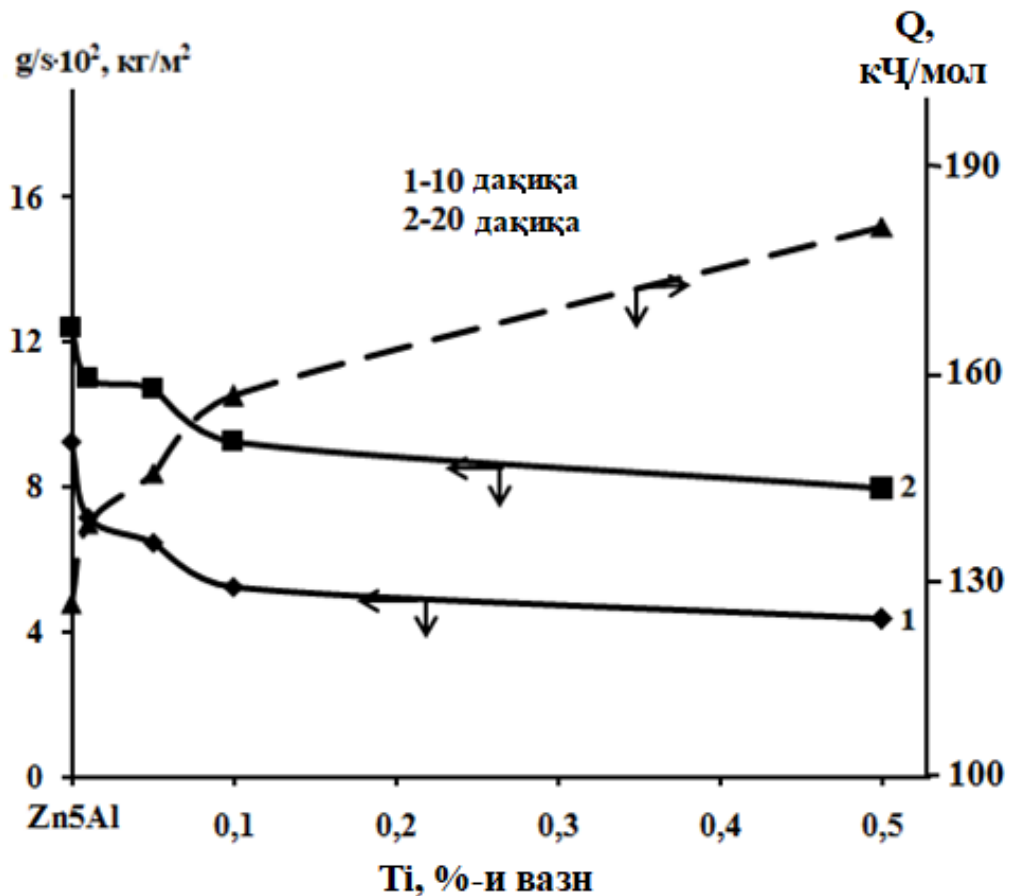
Барои хӯлаи мазкур оксидшавии ибтидоӣ аз рӯи қонунияти хаттӣ бо ҳосилшавии пардаи ғайрияклухт ба вучуд омада буд, минбаъд бо андозаи ба вучуд омадани оксиди ғафс, раванди оксидшавӣ бо монеаҳои диффузионӣ мегузарад. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ аз  $1,58 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> ҳангоми 523К, то  $3,26 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> ҳангоми 623К тағйир меёбад. Энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавии хӯлаи тадқиқшаванда 158,12 кҶ/мол –ро ташкил медиҳад [11-А].

Дар расми 3.3. ва 3.4 изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки бо титан ҷавҳаронида шудааст пешниҳод гардидаанд, ки дар ҳароратҳои 523К ва 623К мувофиқан омӯхта шудаанд.



**Расми 3.3.** – Изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 523К [6-А, 17-А].

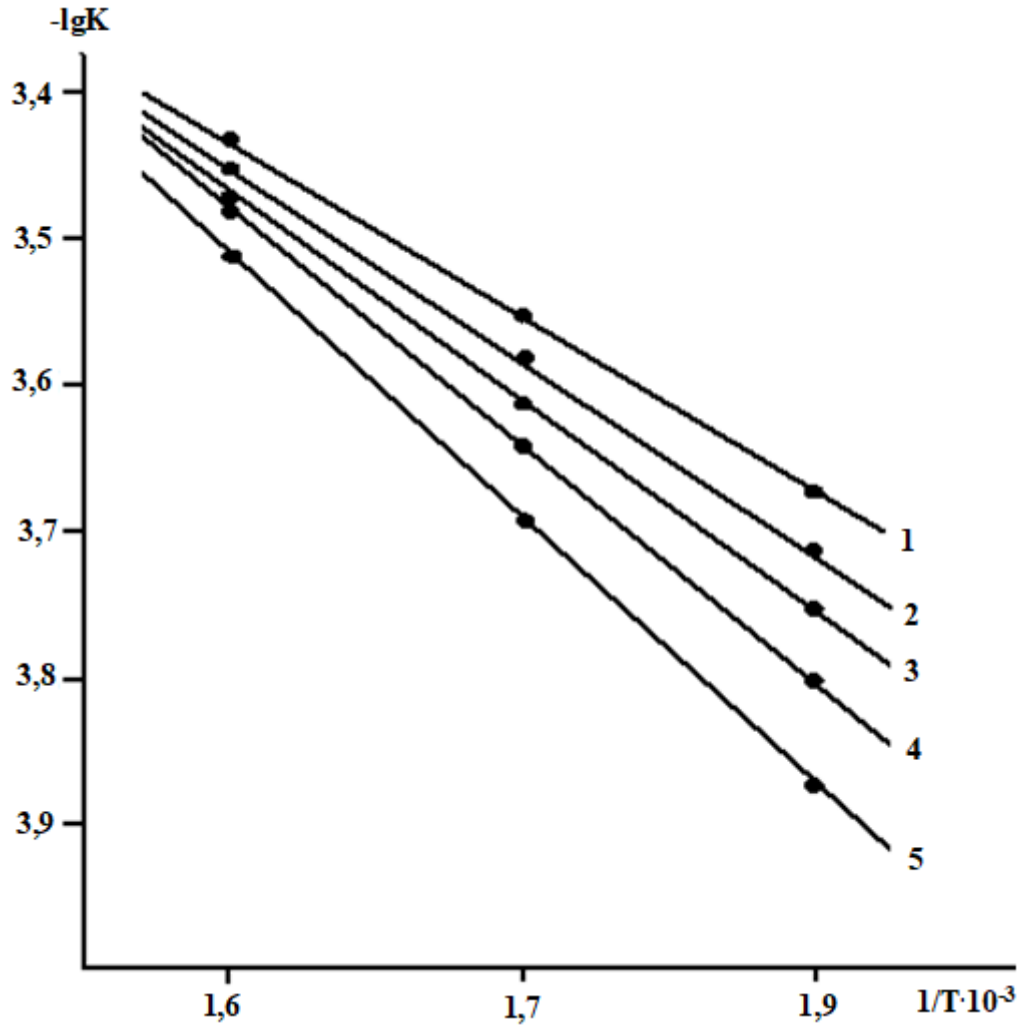
Аз изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ҷавҳаронидашуда дида мешавад, ки бо зиёдшавии миқдори титан суръати оксидшавӣ, чӣ ҳангоми нигоҳ доштани хӯлаҳо то 10-дақиқа дар ҳавои оксидкунанда (расми 3.3 қачхатаи 1) ва ҳамчунин ҳангоми 20 дақиқа нигоҳ доштан (расми 3.3 қачхатаи 2) дар ҳавои оксидкунанда паст мешавад. Ин қонуният нисбатан аниқтар ҳангоми ҳарорати 623 К (расми 3.4 қачхатаи 1 ва 2) ифода меёбад, ки оид ба он инчунин зиёдшавии энергияи фаъолшавии эҳтимоли бо афзоиши миқдори титан гувоҳӣ медиҳад [11-А].



**Расми 3.4.** – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 623К [6-А, 17-А].

Дар координатаҳои  $\lg K-1/T$  қачхатаҳои раванди оксидшавии баландҳароратӣ ҳамчун хатҳои рост ифода мегарданд (расми 3.5), ки аз рӯйи қонунҳои моилии мутобиқ бо он энергияи фаъолшавии эҳтимолии хӯлаҳо ҳисоб карда шудааст (ҷадвали 3.1).

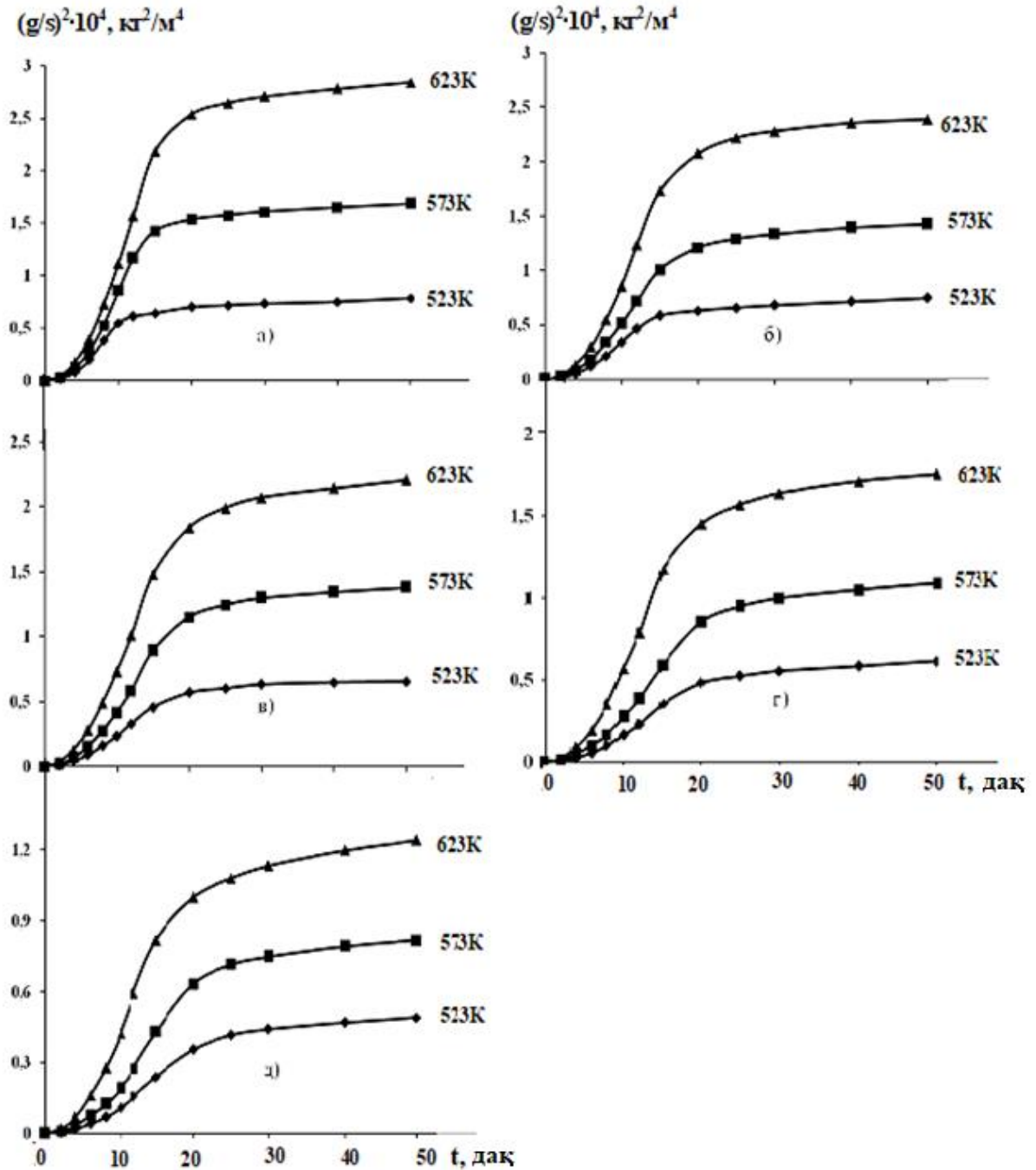
Миёни хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда суръати баландтаринро хӯлаи Zn5Al бе иловаи титан дорад, ки ба энергияи фаъолшавии 128,84 кҶ/мол мувофиқат менамояд, дар ҳолате ки бузургии охирин барои хӯлаи Zn5Al бо 0,5 %-и вазни титан дорад ва ба 179,90 кҶ/мол баробар аст (ҷадвали 3.1) [11-А].



**Расми 3.5.** - Вобастагии  $\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи Zn5Al (1) бо титан: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5) [6-А, 17-А]

Дар ҷадвали 3.2 ва дар расми 3.6 оксидшавии кинетикии квадратӣ ва алгоритмҳои онҳо барои хӯлаи Zn5Al бо титан (0,01...0,5 %-и вазн) дар координатаҳои  $(g/s)^2-t$ , оварда шудаанд, ки аз механизми гиперболии оксидшавии хӯлаҳо гувоҳӣ медиҳанд. Бо роҳи математикии коркарди қачхатаҳои кинетикии квадратии оксидшавии намунаҳои хӯлаи Zn5Al бо

титан ҷавҳаронидашуда (0,01-0,5 %-и вазн) бо ёрии барномаи *Excel* нишон дода шуда буд, ки қачхатаҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаҳои таҷрибавии (расми 3.6) коэффитсиенти коррелятсион баробар ба  $R=0,997-0,999$  буда, механизми гиперболии оксидшавии хӯлаҳо доро мебошанд.



**Расми 3.6.** – Қачхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи рӯхй-алюминийи Zn5Al бо титан, %-и вазн: 0.05 (а); 0.1 (б); 0.5 (в); 0.1(г); 0.5 (д) дар ҳолати сахтӣ [б-А, 17-А].

**Ҷадвали 3.2** – Натиҷаҳои коркарди қачхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи Zn5Al бо титан дар ҳолати сахтӣ [6-А, 17-А]

Миқдори титан дар хӯла, %-и вази	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қачхатаҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти регрессияи R
0,0	523К	$y = - 0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,014x^3 + 0,126x^2 + 0,415x$	0,997
	573К	$y = - 0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,015x^3 + 0,156x^2 + 0,422x$	0,999
	623К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,009x^3 + 0,105x^2 + 0,721x$	0,999
0,01	523К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8}x^4 - 0,003x^3 + 0,028x^2 + 0,517x$	0,997
	573К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-9}x^4 - 0,003x^3 + 0,038x^2 + 0,610x$	0,999
	623К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,005x^3 + 0,061x^2 + 0,719x$	0,999
0,05	523К	$y = - 0,7 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,001x^3 + 0,016x^2 + 0,470x$	0,999
	573К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,003x^3 + 0,035x^2 + 0,534x$	0,999
	623К	$y = - 0,7 \cdot 10^{-4}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8}x^4 - 0,003x^3 + 0,033x^2 + 0,795x$	0,999
0,1	523К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-5}x^4 - 0,002x^3 + 0,027x^2 + 0,296x$	0,999
	573К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-4}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,001x^3 + 0,024x^2 + 0,441x$	0,998
	623К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,4 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,004x^3 + 0,049x^2 + 0,576x$	0,999
0,5	523К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 + 0,016x^2 + 0,265x$	0,999
	573К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 + 0,021x^2 + 0,365x$	0,998
	623К	$y = - 0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,002x^3 + 0,028x^2 + 0,590x$	0,999

Дар умум тадқиқоти гузаронидашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки иловаҳои титан дар ҳудудҳои омӯхташавандаи миқдори оксидшавии хӯлаи ибтидоиро паст мекунад. Пастшавии суръати оксидшавӣ бо мутобиқан зиёд шудани бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ аз 128,84 то 179,90 кҶ/мол гуселонида мешавад [6-А, 17-А].

### 3.3. Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар ҳолати сахтӣ

Хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ ҳамчун масолеҳи анодӣ барои муҳофизати маснуоти пӯлодӣ, конструкцияҳо ва иншоот аз зангзанӣ истифода бурда мешаванд. Бинобар ҳамин, мубрамии тадқиқот бо зарурати омӯхтани равандҳои таъсири мутақобили хӯлаҳои металлӣ ҳамчун протекторҳои анодӣ бо муҳитҳои газӣ ва агрессивии гуногун дар ҳароратҳои баланд муайян карда мешавад.

Барои тадқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда, дар ҳолати сахтӣ хӯлаҳо дар оташдони муқовимати навъи СШОЛ ба даст оварда шуда буданд. Барқашии шихта дар тарозуи таҳлилии APB-200 бо саҳеҳии  $0,1 \cdot 10^{-6}$  кг гузаронида шуда буд.

Бо усули термогравиметрӣ таъсири мутақобили хӯлаи сахти Zn55Al, ки миқдори аз 0,01 то 0,5 %-и вазн титан дошт бо фазаи газии оксигенӣ тадқиқ карда шудааст. Натиҷаҳои тадқиқот дар расми 3.7 ва ҷадвали 3.3 оварда шудаанд [11-А].

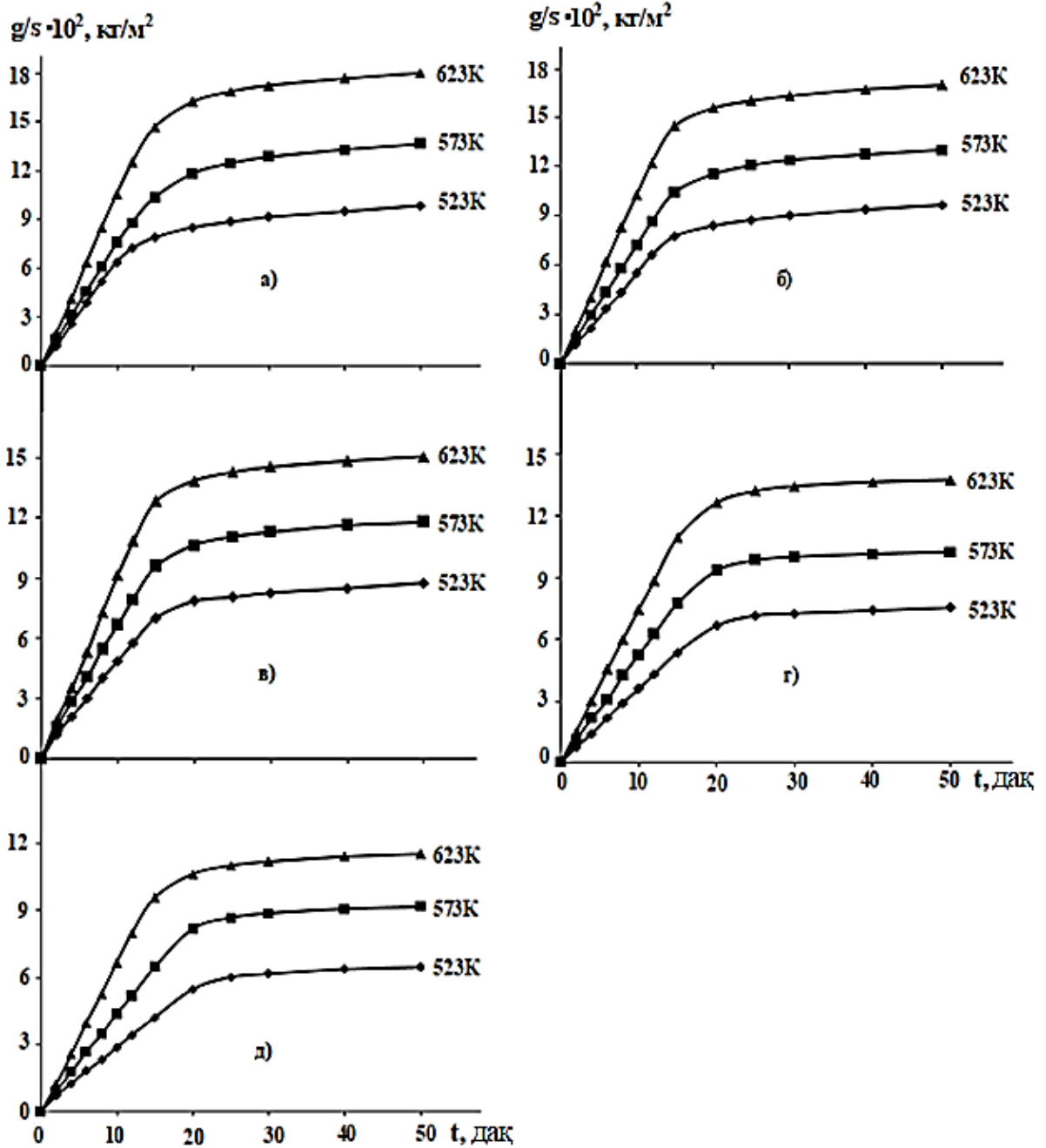
Чӣ тавре аз ҷадвали 3.3 дида мешавад, иловаҳои титан бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавии хӯлаҳоро зиёд мекунад. Константаи суръати оксидшавӣ ҳангоми ҳароратҳои якхелаи хӯлаи Zn55Al бо титан чанде нисбат ба хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al камтар мебошад. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al дар ҳолати сахтӣ дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К (расми 3.7 а) тадқиқ карда шудааст. Суръати оксидшавии ҳақиқӣ аз  $2,13 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> то  $3,73 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сония<sup>-1</sup> –ро ташкил медиҳад, мувофиқан дар зери ҳароратҳои 523К ва 623К, энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ, ки аз рӯйи тангенс кунчи моилии вобастагии  $\lg K - 1/T$  ҳисоб карда шудааст, 154,51 кҶ/мол –ро ташкил медиҳад (ҷадвали 3.3) [6-А].

**Чадвали 3.3** – Параметрҳои кинетики ва энергетикии раванди оксидшавии хӯлаи Zn55Al бо титан, дар ҳолати сахтӣ [6-А]

Миқдори титан дар хӯлаи Zn55Al, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ, кҶ/мол
0,0	523К	2,13	154,51
	573К	2,81	
	623К	3,73	
0,01	523К	1,86	165,16
	573К	2,58	
	623К	3,62	
0,05	523К	1,72	174,18
	573К	2,43	
	623К	3,54	
0,1	523К	1,51	192,56
	573К	2,22	
	623К	3,37	
0,5	523К	1,28	203,82
	573К	2,02	
	623К	3,20	

Дар асоси тадқиқоти гузаронидашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳо дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К муқаррар карда шудаанд (ҷадвали 3.3).

Раванди оксидшавии хӯлаи Zn55Al бо 0,01 %-и вазни титан дар 12-15 дақиқаҳо ба анҷом мерасад (расми 3.7 б). Бузургии суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаи мазкур дар ҳароратҳои тадқиқшаванда дар ҳарорати 623 К аз  $1,86 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  дар 523К то  $3,62 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  тағйир меёбад. Бо вуҷуди ин бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимоли  $165,16 \text{ кҶ/мол}$  –ро ташкил медиҳад. Қачхатаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаи Zn55Al, ки миқдори 0,01% титан доранд (расми 3.7 б), бо муқоиса ба хӯлаи ибтидоӣ нисбатан раванди дурударози ташаккули пардаи оксидӣ доранд [6-А].

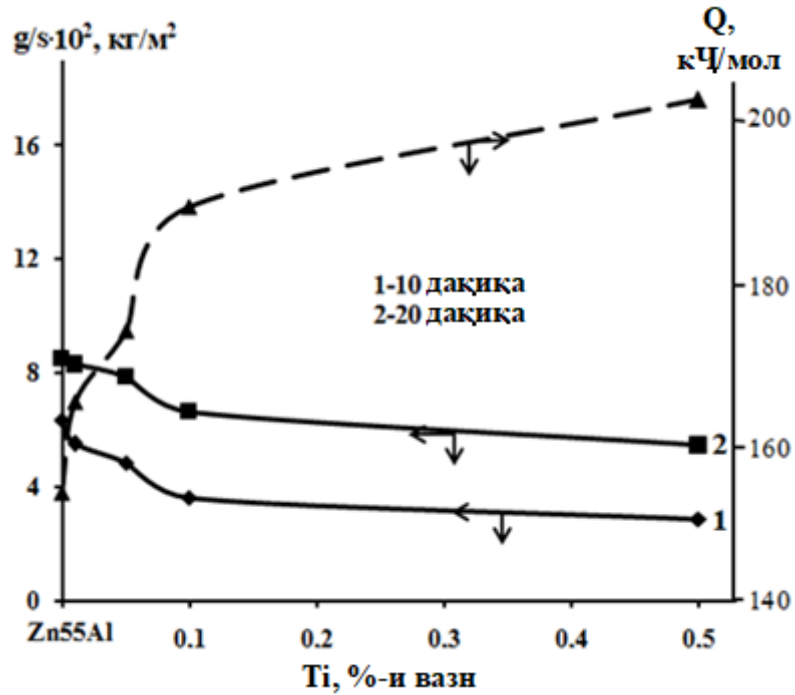


**Расми 3.7.** – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан, %-и вазн: 0.0 (а); 0.01(б); 0.05 (в); 0.1 (г); 0.5 (д), дар ҳолати сахтӣ [б-А].

Чунин механизми оксидшавӣ бо пайдошавии оксидҳои таркибӣ мураккаб дар сатҳи намунаҳо фаҳмонида мешавад, ки комилан хосиятҳои муҳофизатии баланд доранд. Вобаста аз вақт ва ҳарорат динамикаи афзоиши вазни нисбии намунаҳо барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ба афзоиши суръати оксидшавӣ бо зиёд шудани ҳарорат тавсиф мегардад (расми 3.7).



Дар расмҳои 3.8 ва 3.9 изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда оварда шудаанд, ки дар ҳароратҳои 523К, 623К омӯхта шудаанд.



Расми 3.8. – Изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 523К [6-А].

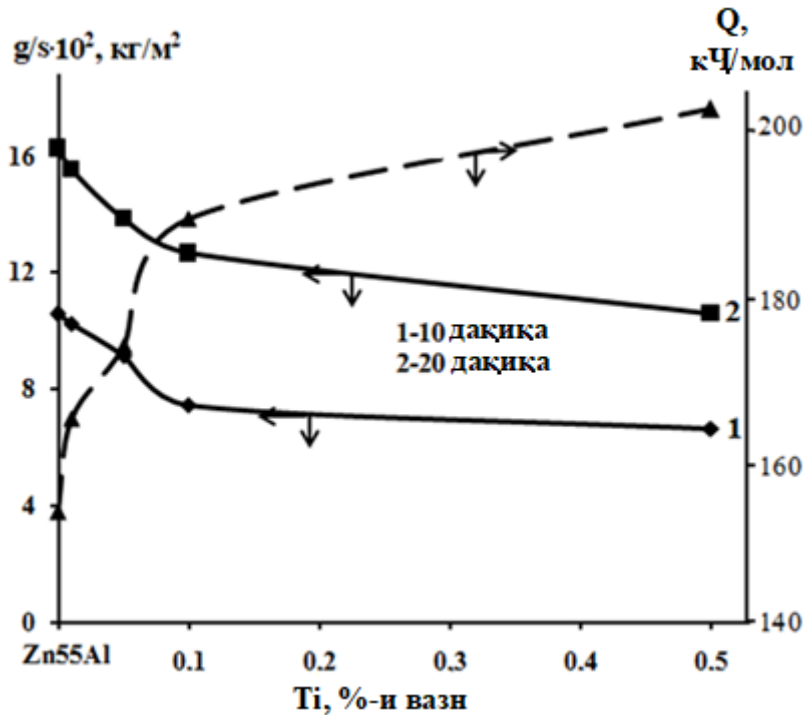
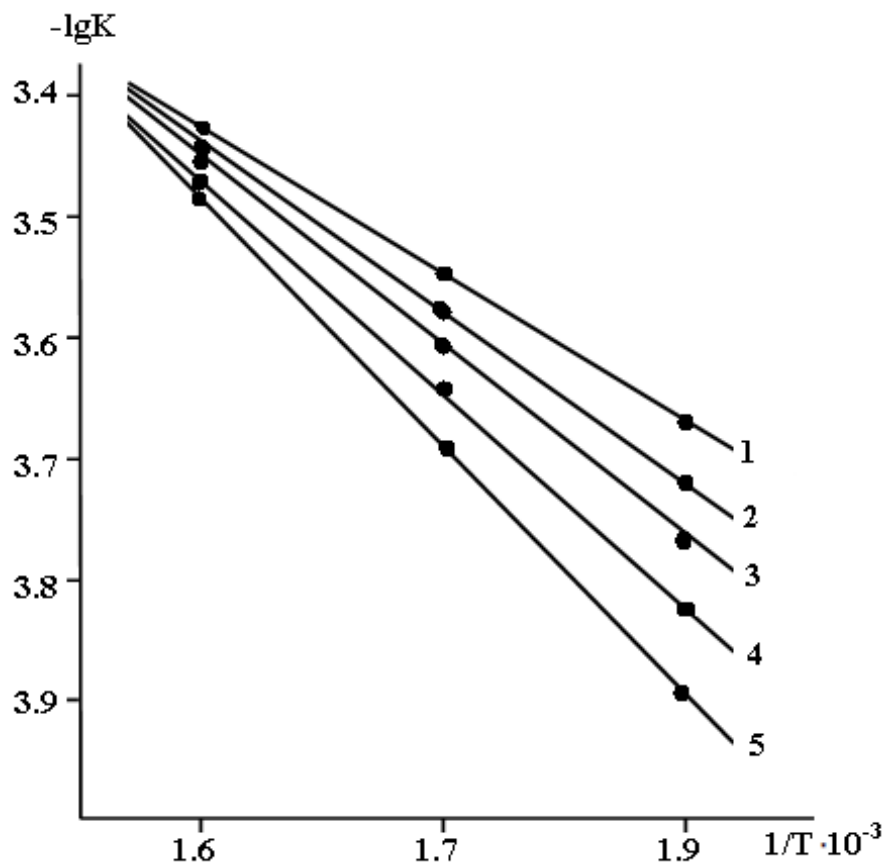


Рисунок 3.9. – Изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 623К [6-А].

Чӣ гунае ки изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан нишон медиҳанд, бо андозаи зиёдшавии миқдори илова, чӣ дар 10-дақиқа нигоҳ доштани хӯлаҳо дар ҳавои оксидкунанда (каҷхатаи 1), ҳамчунин ҳангоми 20-дақиқа нигоҳ доштан (каҷхатаи 2) суръати оксидшавӣ паст мешавад. Дар ин сурат бо афзудани миқдори титан энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ меафзояд.

Дар расми 3.10 вобастагии логарифмии  $\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар ҳудудҳои 0,01...0,5 % -и вазн оварда шудааст, ки тавсифи ростхатта доранд. Аз расм дида мешавад, ки раванди оксидшавӣ вобаста аз ҳарорати хӯлаҳои тадқиқшаванда бо афзудан тавсиф мегарданд. Каҷхатаҳои (2-5) ба хӯлаи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда алоқаманд мебошанд, ки хеле поёнтар ҷойгир шудаанд, назар ба каҷхатаи (1)-и хӯлаи ибтидоии Zn55Al.



**Расми 3.10** – Вобастагии  $\lg K$  аз  $1/T$  (г) барои хӯлаи Zn55Al (1) бо титан: (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5).

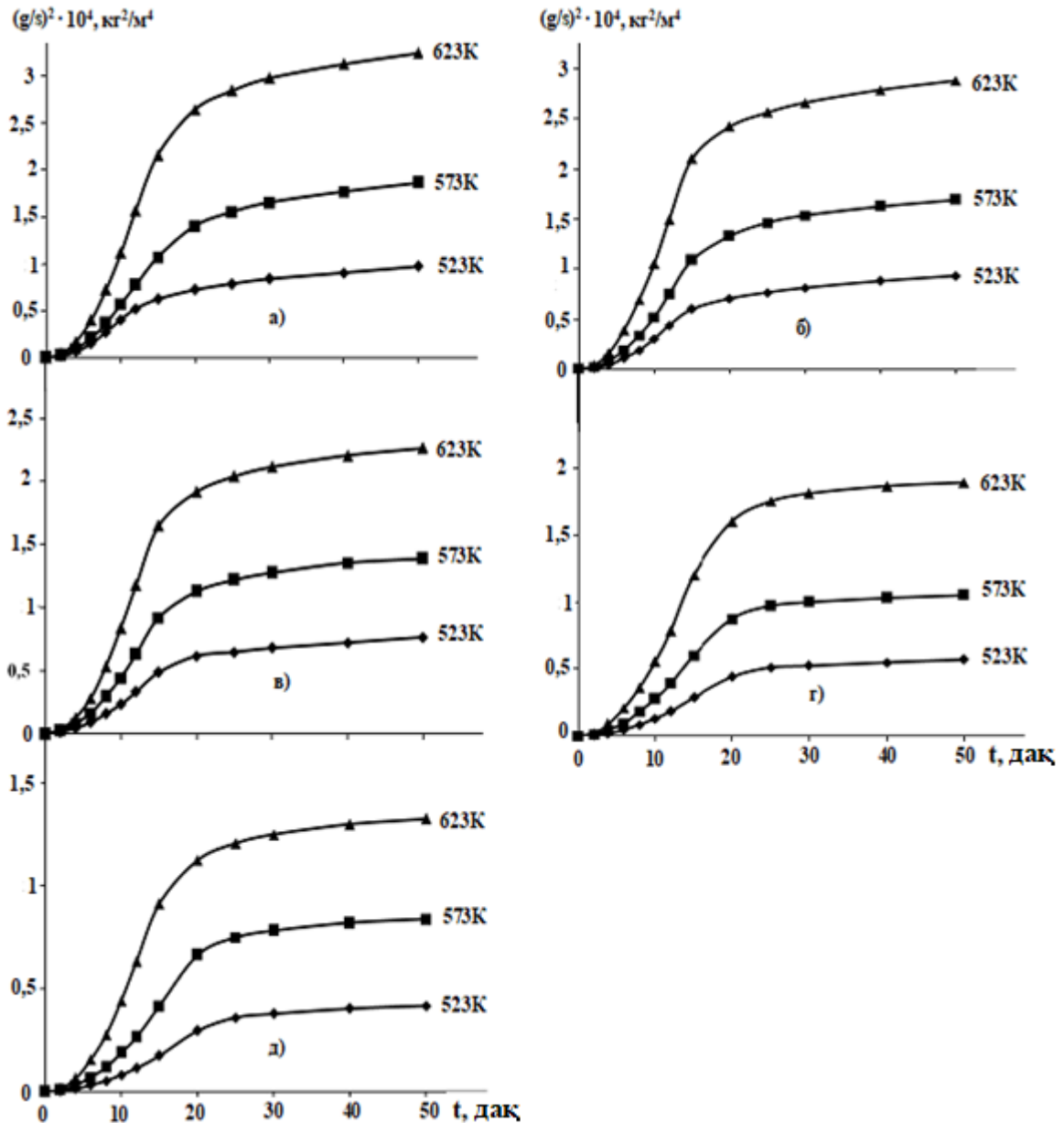
Дар ҷадвали 3.4 ва дар расми 3.11 оксидшавии кинетикии квадратӣ ва алгоритмҳои онҳо барои ҳӯлаи Zn55Al бо титан (0.01...0.5 %-и вазн) дар координатаҳои  $(g/s)^2-t$  пешниҳод гардидаанд.

**Ҷадвали 3.4** – Натиҷаҳои коркарди қачхатаҳои кинетикии квадратии оксидшавии ҳӯлаи Zn55Al бо титан, дар ҳолати сахтӣ [б-А]

Миқдори титан дар ҳӯла, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои квадратии қачхатаҳои кинетикии оксидшавии ҳӯлаҳо	Кoeffициенти регрессияи R
0,0	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-6} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6} x^4 - 0,002 x^3 + 0,010 x^2 + 0,660 x$	0,997
	573К	$y = -0,7 \cdot 10^{-9} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8} x^4 - 0,003 x^3 + 0,029 x^2 + 0,688 x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,8 \cdot 10^{-2} x^3 + 0,095 x^2 + 0,756 x$	0,999
0,01	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7} x^4 - 0,002 x^3 + 0,029 x^2 + 0,469 x$	0,998
	573К	$y = -0,7 \cdot 10^{-6} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8} x^4 - 0,003 x^3 + 0,040 x^2 + 0,603 x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2} x^3 + 0,062 x^2 + 0,842 x$	0,998
0,05	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-1} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4} x^4 - 0,5 \cdot 10^0 x^3 + 0,519 x$	0,998
	573К	$y = -0,7 \cdot 10^{-8} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7} x^4 - 0,002 x^3 + 0,029 x^2 + 0,605 x$	0,998
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2} x^3 + 0,058 x^2 + 0,725 x$	0,998
0,1	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001 x^3 + 0,019 x^2 + 0,281 x$	0,999
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-3} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-5} x^4 - 0,002 x^3 + 0,030 x^2 + 0,409 x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8} x^4 - 0,003 x^3 + 0,043 x^2 + 0,595 x$	0,999
0,5	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,6 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,004 x^2 + 0,280 x$	0,998
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-3} x^4 - 0,001 x^3 + 0,022 x^2 + 0,343 x$	0,998
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-2} x^5 - 0,5 \cdot 10^{-9} x^4 - 0,003 x^3 + 0,047 x^2 + 0,490 x$	0,999

Андешаи дар ибтидо пайдошаванда тахмин менамояд, ки қачхатаҳои кинетикии ҳӯлаҳо бо қонунияти параболӣ тавсиф мегарданд (расми 3.7), вале коркарди минбаъдаи онҳо дар намуди квадратӣ бо ёрии барномаи *Excel* ба он нишон медиҳад, ки қачхатаҳо (расми 3.11) ба ифодаи гиперболаро тавсифкунанда тобеъ карда шудаанд, яъне суръати раванди оксидшавӣ бо гузаштани вақт дар натиҷаи афзоиши муқовимати диффузионӣ паст шудан мегард (ҷадвали 3.4).

Дар муодилаҳое, ки вобастагии  $y=k \cdot x^n$  ( $y$ -ваззиёдкунии хӯлаҳо,  $x$ -давомнокии оксидшавӣ)-ро тавсиф намудаанд, бузургии  $n$  аз 2 то 9 тағйир меёбад ва ба механизми гиперболии раванди оксидшавии хӯлаҳо ишорат менамояд ва коэффитсиенти коррелятсияи  $R=0.997-0.999$  (расми 3.7 ва 3.11) доранд.



**Расми 3.11.** – Қаҷхатаҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи Zn55Al бо титан, %-и вазн: 0,0 (а); 0,01(б); 0,05 (в); 0,1 (г); 0,5 (д) дар ҳолати сахтӣ [б-А].

Таъсири ҷавҳаронии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо 0,1 %-и вазни титанро дар ҳароратҳои 523К, 573К и 623К (расми 3.11, г) омӯхтем. Бузургии

максималии  $\Delta g/s$  ҳангоми оксидшавӣ дар ҳудудҳои аз  $1,51 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  ҳангоми 523К то  $3,37 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  ҳангоми 623К тағйир меёбад. Бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ 192,56 кҶ/мол-ро ташкил медиҳад (ҷадвали 3.3) [11-А].

Оксидшавии хӯлаи Zn55Al -ро, ки миқдори 0,5 %-и вазн титан дорад дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К тадқиқ намудем (расми 3.11, д). Суръати оксидшавӣ суст меафзояд. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ дар ҳудудҳои аз  $1,28 \cdot 10^{-4}$  ҳангоми 523К то  $3,20 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  ҳангоми 623К тағйир меёбад ва бо бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолии 203,82 кҶ/мол тавсиф меёбад (ҷадвали 3.3) [11-А].

Дар ҳама ҳолатҳо оксидшавии хӯлаҳо аз рӯйи қонунияти гиперболӣ мегузарад. Муайян карда шудааст, ки суръати оксидшавӣ, мувофиқан бо зиёдшавии миқдори титан дар хӯлаи Zn55Al паст мешавад. Пастшавии суръати оксидшавӣ бо зиёдшавии муносиби бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолий 154,51 то 203,82 кҶ/мол гуселонида мешавад [11-А].

#### **3.4. Оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар ҳолати сахтӣ [4-А, 6-А]**

Натиҷаҳои тадқиқоти таъсири сирконий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо миқдорҳои 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 %-и вазн сирконий дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К омӯхта шудааст, ки дар ҷадвалҳои 3.5; 3.6 ва дар расми 3.12 оварда шудааст.

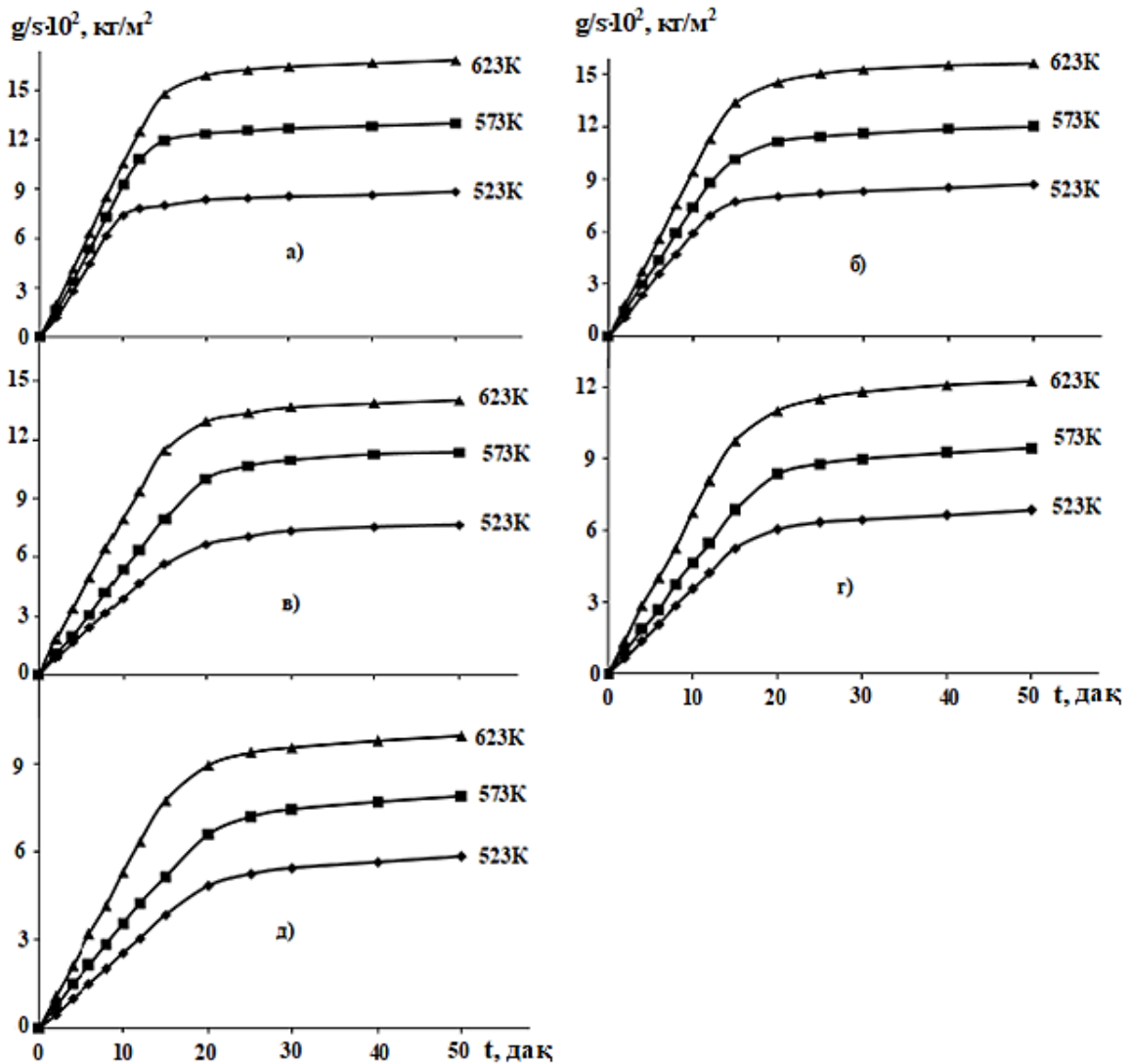
Барои тадқиқоти таъсири сирконий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al серияи хӯлаҳо бо миқдорҳои сирконий аз 0,01 то 0,5% (аз рӯйи вазн) синтез карда шуда буданд.

Бо усули термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконийро дар ҳолати сахтӣ омӯхтем. Дар ҷадвали 3.5 параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар ҳолати сахтӣ оварда шудаанд.

**Чадвали 3.5** – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар ҳолати сахтӣ [4-А, 6-А]

Миқдори сирконий дар хӯлаи Zn5Al, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^{-4}$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ, кҶ/мол
0,0	523К	2,10	128,84
	573К	2,71	
	623К	3,62	
0,01	523К	1,99	135,88
	573К	2,69	
	623К	3,63	
0,05	523К	1,73	147,38
	573К	2,38	
	623К	3,33	
0,1	523К	1,43	164,22
	573К	2,08	
	623К	3,06	
0,5	523К	1,19	187,84
	573К	1,84	
	623К	2,80	

Параметрҳои мазкур ба он ишорат менамоянд, ки иловаҳои сирконий ба хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al энергияи фаъолшавии эҳтимолии хӯлаҳоро баланд мебардоранд. Муқаррар карда шудааст, ки дар ҳароратҳои якхела суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо иловаи 0,01; 0,05; 0,1 ва 0,5 %-и вазн сирконий назар ба хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al каме пасттар мебошад. Маълум мегардад, ки дар марҳилаҳои ибтидоии раванд пардаи оксидии бавучудомада хосиятҳои муҳофизатии кифояро доро нест. Оид ба ин зиёдшавии суръати оксидшавии хӯлаҳо вобаста аз ҳарорат гувоҳӣ медиҳад [4-А, 6-А].



**Расми 3.12** – Качхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи Zn<sub>5</sub>Al бо сирконий, %- вазн: 0,0 (а); 0,01(б); 0,05 (в); 0,1 (г); 0,5 (д), дар ҳолати сахтӣ [4-А, 6-А].

Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, ки бо ёрии расандаҳои аз ибтидо ҳисоб карда шудааст ва то качхатаҳои оксидшавӣ мутобиқи ифодаи  $K=g/s \cdot \Delta t$ , барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn<sub>5</sub>Al, бо 0,5%-и сирконий муайян карда шудааст, ки аз  $1,19 \cdot 10^4 \text{ кг м}^{-2} \text{ сония}^{-1}$  то  $2,80 \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  мувофиқат менамояд, мутобиқан дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К. Барои хӯлаи мазкур энергияи фаъолшавии эҳтимолии оксидшавӣ, ки аз рӯи тангенсҳои моилии вобастагии ростхатаи  $\lg K-1/T$  ҳисоб карда мешавад, ба  $187,84 \text{ кҶ/мол}$  баробар аст (ҷадвали 3.5) [4-А, 6-А].

Бо зиёдшавии бузургии ҳарорат афзудани суръати оксидшавии намунаҳо мушоҳида карда шудааст, ки дар расми 3.12 пешниҳод гаштааст. Баъдан раванди оксидшавии хӯлаҳои омӯхташаванда бо сирконий аз рӯи механизмҳои ҳархела гузашт. Масалан, хӯлаҳо бо миқдорҳои 0,01; 0,05; 0,1 ва 0,5 %- вазни сирконий бо

зиёдшавии ҳарорат аз тамоюли ошкоро ба зиёдшавии суръати оксидшавӣ мебаранд.

Аз расми 3.12 (б) дида мешавад, ки дар муддати 15-20 дақиқа қачхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо 0,01 %-и вазни сирконий бо суръатҳои оксидшавии хеле калон тавсиф меёбанд. Бузургии суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки 0,01 %-и вазн сирконий дорад, аз  $1,99 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  то  $3,63 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  тағйир меёбад, дар ҳароратҳои 523 К, 573 К ва 623 К бо энергияи фаъолшавии эҳтимолии 135,88 кҶ/мол (ҷадвали 3.5) [4-А, 6-А].

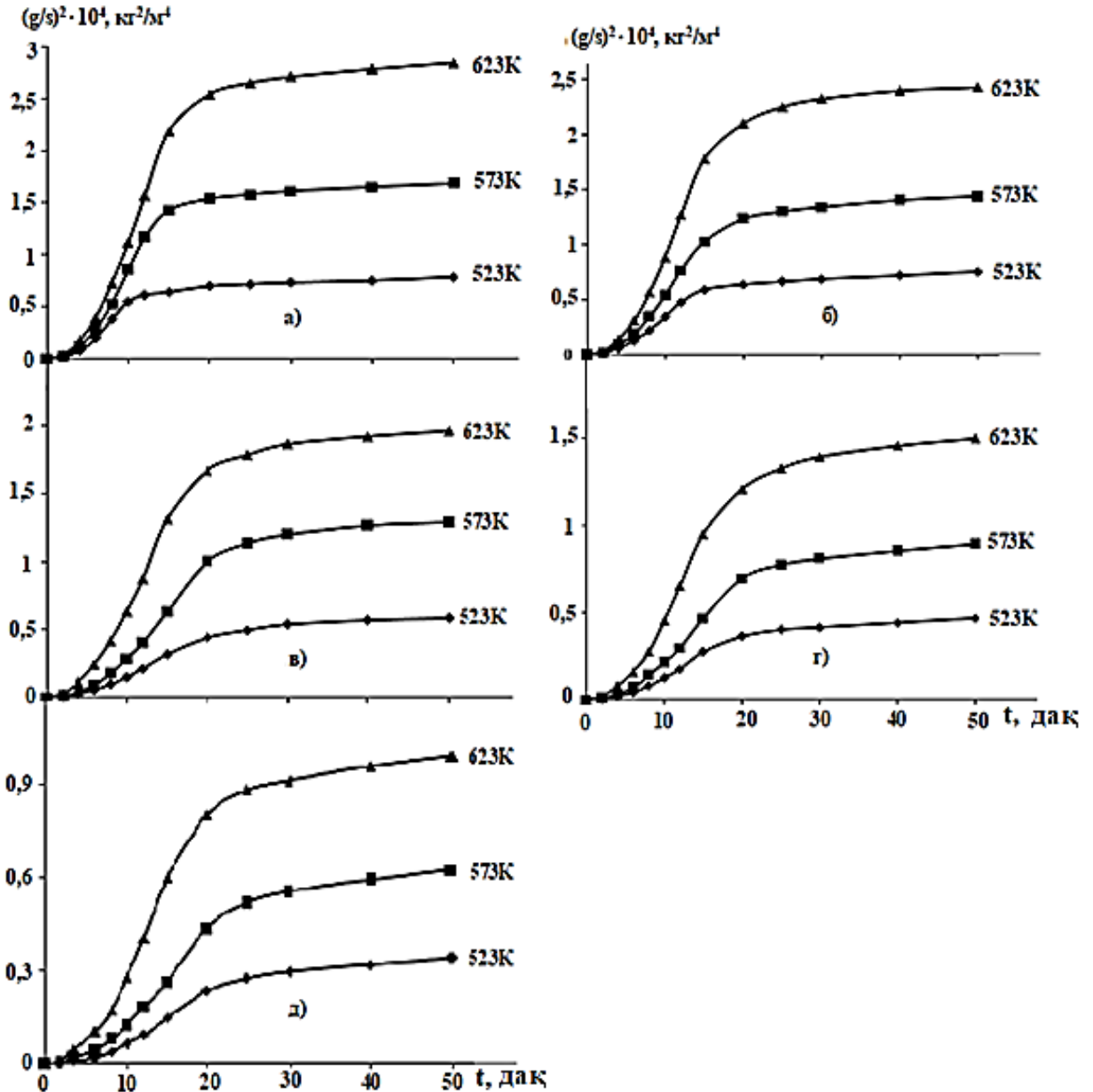
Дар ҷадвали 3.6 ва дар расми 3.11 оксидшавии кинетикии квадратӣ ва алгоритмҳои онҳо барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий (0,01...0,5 %-и вазн) дар координатаҳои  $(\text{g/s})^2$ -t пешниҳод гаштаанд.

**Ҷадвали 3.6** – Натиҷаҳои коркарди қачхатаҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий, дар ҳолати сахтӣ [4-А, 6-А]

Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қачхатаҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффитсиенти регрессияи R
0,0	523K	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,014x^3 + 0,126x^2 + 0,415x$	0,997
	573K	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,015x^3 + 0,156x^2 + 0,422x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,009x^3 + 0,105x^2 + 0,721x$	0,999
0,01	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,002x^3 + 0,024x^2 + 0,544x$	0,997
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-9}x^4 - 0,003x^3 + 0,039x^2 + 0,626x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,005x^3 + 0,060x^2 + 0,747x$	0,999
0,05	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 + 0,014x^2 + 0,355x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-5}x^4 - 0,002x^3 + 0,036x^2 + 0,368x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,003x^3 + 0,032x^2 + 0,729x$	0,999
0,1	523K	$y = -0,7 \cdot 10^{-6}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,002x^3 + 0,026x^2 + 0,247x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,002x^3 + 0,028x^2 + 0,346x$	0,999
	623K	$y = -0,7 \cdot 10^{-7}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,003x^3 + 0,037x^2 + 0,554x$	0,998
0,5	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 + 0,015x^2 + 0,183x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,010x^2 + 0,318x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,002x^3 + 0,032x^2 + 0,415x$	0,999



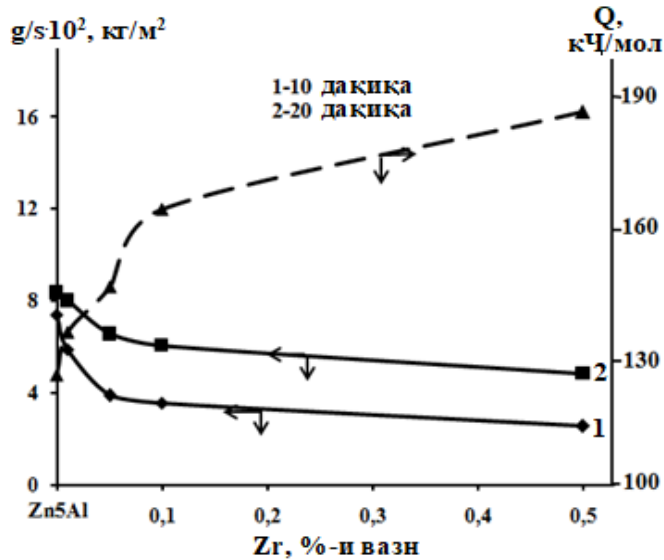
Асосан бузурғиҳое, ки вобастагии  $y=k \cdot x^n$  –ро тавсиф менамоянд ( $y$  – афзоишҳои хӯлаҳо,  $x$  – давомнокии оксидшавӣ), бузурғиҳои  $n$  аз 2 то 5 тағйир меёбанд, ки ба механизми гиперболии раванди оксидшавии хӯлаҳо ишорат менамоянд, ки коэффитсиенти коррелятсияи  $R=0,997-0,999$  доранд (расми 3.12 ва 3.13).



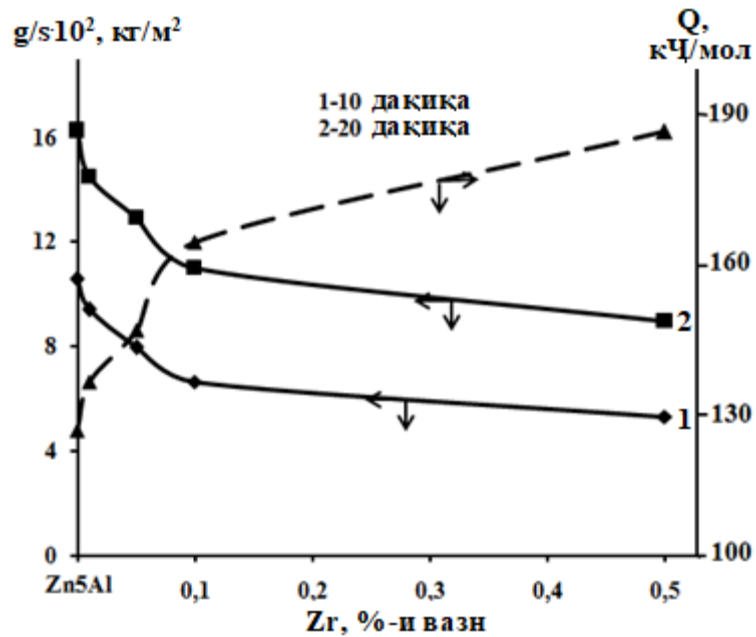
**Расми 3.13** – Қаҷхатаҳои оксидшавии квадратии кинетикии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий, %-и вазн: 0,05 (а); 0,1 (б); 0,5 (в) дар ҳолати сахтӣ [4-А, б-А].

Изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои бо сирконий дар расмҳои 3.14 ва 3.15 пешниҳод гаштаанд. Дида мешавад, ки бо зиёдшавии миқдори сирконий

суръати оксидшавӣ паст мешавад, чӣ ҳангоми 10-дақиқаи нигоҳдории хӯлаҳо дар ҳавоӣ атмосферӣ (каҷхатаи 1), ҳамчунин ҳангоми 20-дақиқа нигоҳдоштан (каҷхатаи 2). Қонунияти мазкур аниқтар дар ҳарорати 623К (расми 3.15) ифода меёбад, ки оид ба он инчунин зиёдшавии энергияи фаъолшавии эҳтимоли бо афзоиши миқдори сирконий дар хӯлаи Zn5Al гувоҳӣ медиҳад [4-А, 6-А].



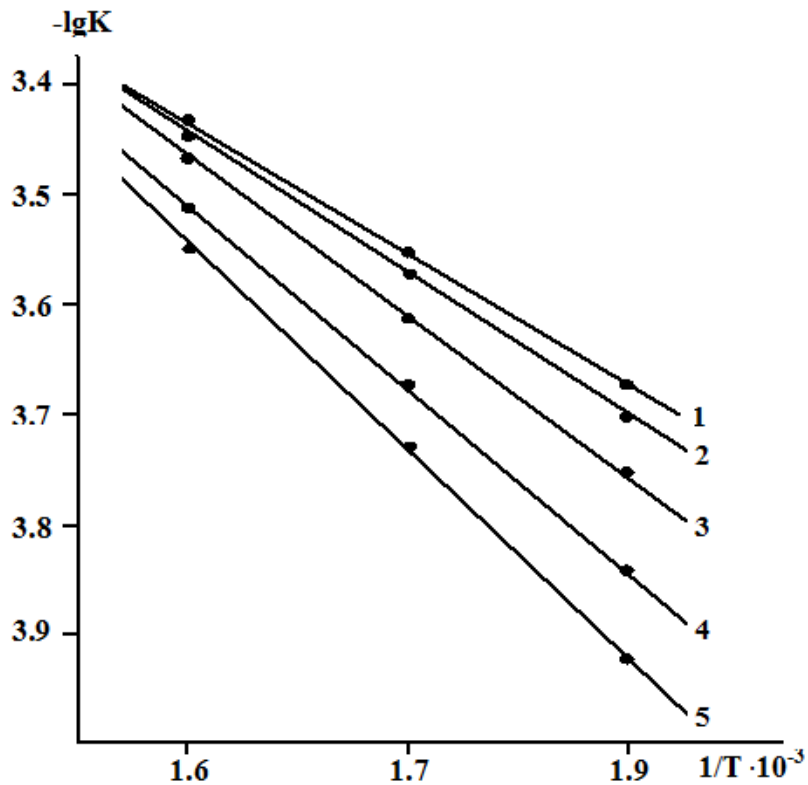
**Расми 3.14** – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, бо сирконий ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 523К [4-А, 6-А].



**Расми 3.15** – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, бо сирконий ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 623К [4-А].

Дар ҳама ҳолатҳо оксидшавии хӯлаҳо аз рӯйи қонунияти гиперболӣ мегузарад. Муайян карда шудааст, ки бо афзудани миқдори сирконий дар хӯлаи Zn5Al суръати оксидшавӣ мувофиқан паст мешавад.

Дар расми 3.16 вобастагии логарифмии  $\lg K - 1/T$  барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (1) бо сирконий дар ҳудудҳои 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) %-и вазн ҷавҳаронидашуда оварда шудааст, ки тавсифи ростхатта доранд. Чӣ тавре аз расм дида мешавад, раванди оксидшавӣ вобаста аз ҳарорати хӯлаҳои тадқиқшаванда бо афзудан тавсиф мегарданд. Қачхатаҳои (2-5) ба хӯлаи Zn5Al бо сирконий ҷавҳаронида шудаанд, назар ба қачхатаи (1) хӯлаи ибтидоии Zn5Al хеле поёнтар ҷойгир гардидаанд.



**Расми 3.16** – Вобастагии  $\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи Zn5Al (1) бо сирконий: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) [4-А, 6-А].

### 3.5. Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий дар ҳолати сахтӣ [б-А]

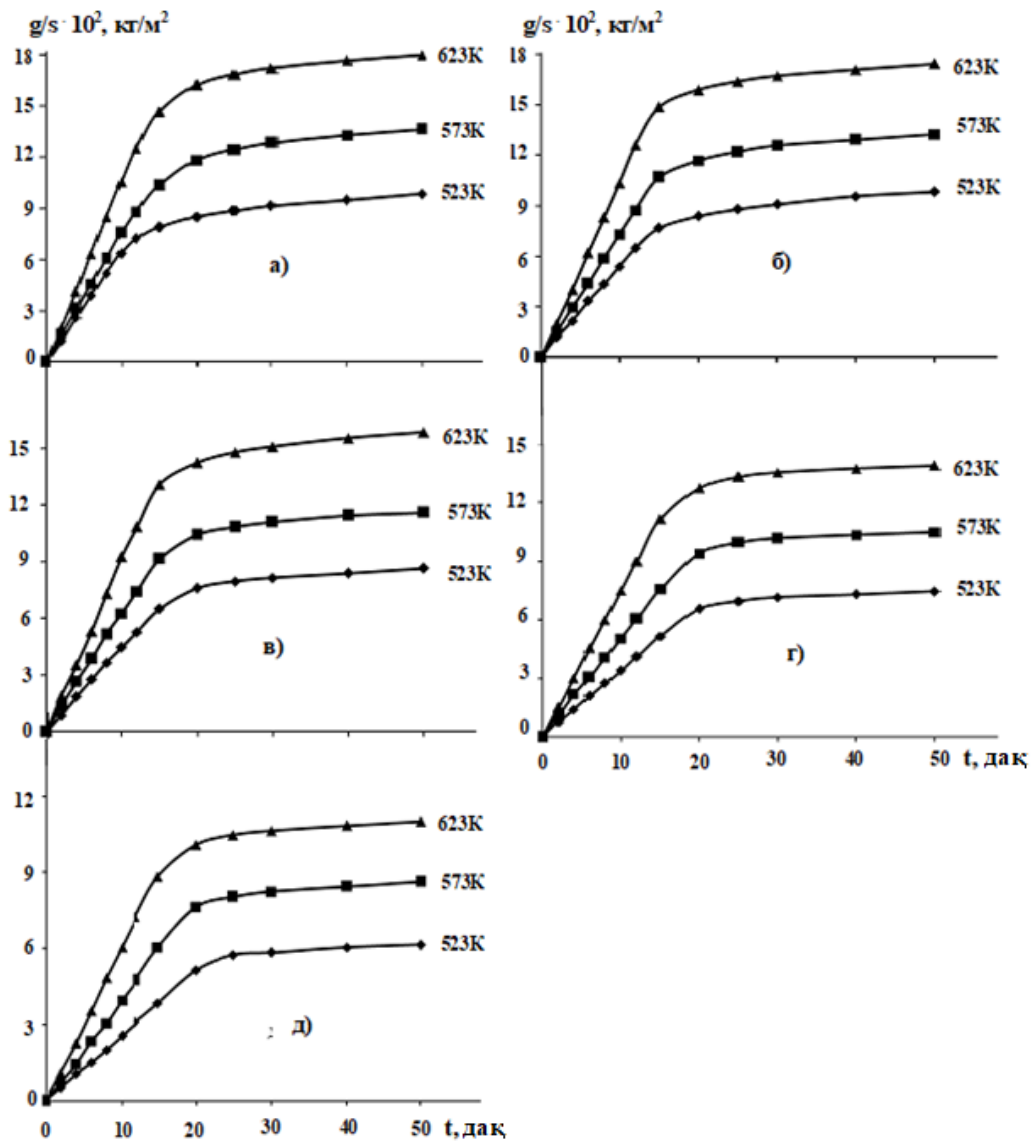
Натиҷаҳои тадқиқоти таъсири иловаи сирконий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al, ки миқдори 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 %-и вазн сирконий дорад дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К омӯхта шудаанд, дар расмҳои 3.17 - 3.21 ва дар ҷадвалҳои 3.7 ва 3.8 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 3.7** – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ риванди оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий, дар ҳолати сахтӣ [б-А]

Миқдори сирконий дар хӯлаи Zn55Al, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^{-4}$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$	Энергияи фаъолшавии эҳтимолий, кҶ/мол
0,0	523К	2,13	154,51
	573К	2,81	
	623К	3,73	
0,01	523К	1,84	160,06
	573К	2,56	
	623К	3,51	
0,05	523К	1,62	171,07
	573К	2,34	
	623К	3,37	
0,1	523К	1,40	190,64
	573К	2,03	
	623К	3,20	
0,5	523К	1,17	208,26
	573К	1,90	
	623К	3,00	

Аз расми 3.17 (б) дида мешавад, ки дар муддати 15-20 дақиқа қачхатаҳои кинетикӣ оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо 0,01

%-и вазни сирконий бо суръати хеле баланди оксидшавӣ тавсиф мегарданд. Бузургии суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al, ки миқдори 0,01 %-и вазн сирконий дорад, аз  $1,84 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  то  $3,51 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К бо энергияи фаъолшавии эҳтимолии 160,06 кҶ/мол тағйир меёбад (ҷадвали 3.7).

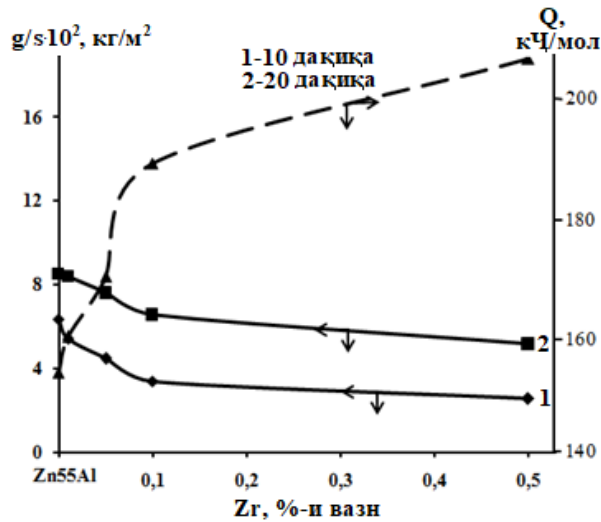


**Рисунок 3.17** – Қаҷхатаҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий, %-и вазн: 0,0 (а); 0,01(б); 0,05 (в); 0,1 (г); 0,5 (д) дар ҳолати саҳтӣ [б-А].

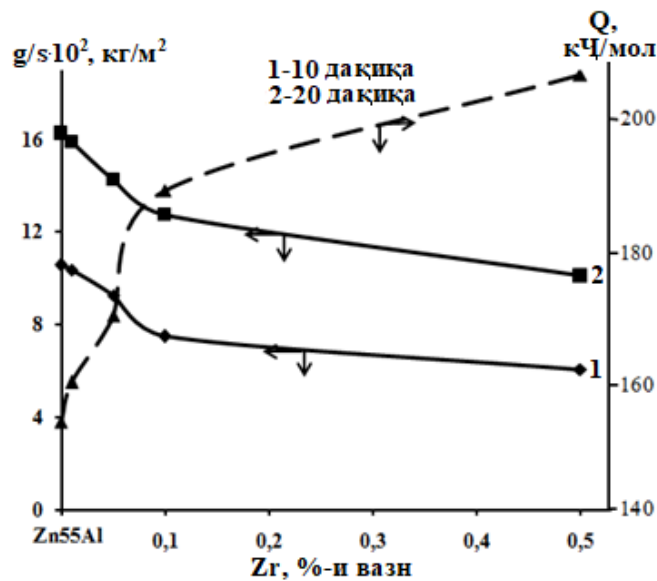
Оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al, бо 0,1 %-и вазн сирконийро дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К тадқиқ намудем. Натиҷаҳо дар расми 3.17 (г) оварда шудаанд. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ аз ҳудудҳои

$1,40 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  то  $3,20 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  тағйир меёбад, ки бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ дар ин ҳудуд  $190,64 \text{ кҶ/мол}$ -ро ташкил медиҳад (ҷадвали 3.7).

Изохронҳои оксидшавии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий ҷавҳаронидашуда дар 3.18 и 3.19 оварда шудаанд. Дида мешавад, ки бо зиёдшавии миқдори сирконий суръати оксидшавӣ, чӣ ҳангоми 10-дақиқа нигоҳ доштани хӯлаҳо дар ҳавои оксидкунанда (қачхатаи 1), ҳамчунин ҳангоми 20 дақиқа нигоҳ доштан (қачхатаи 2) паст мешавад.

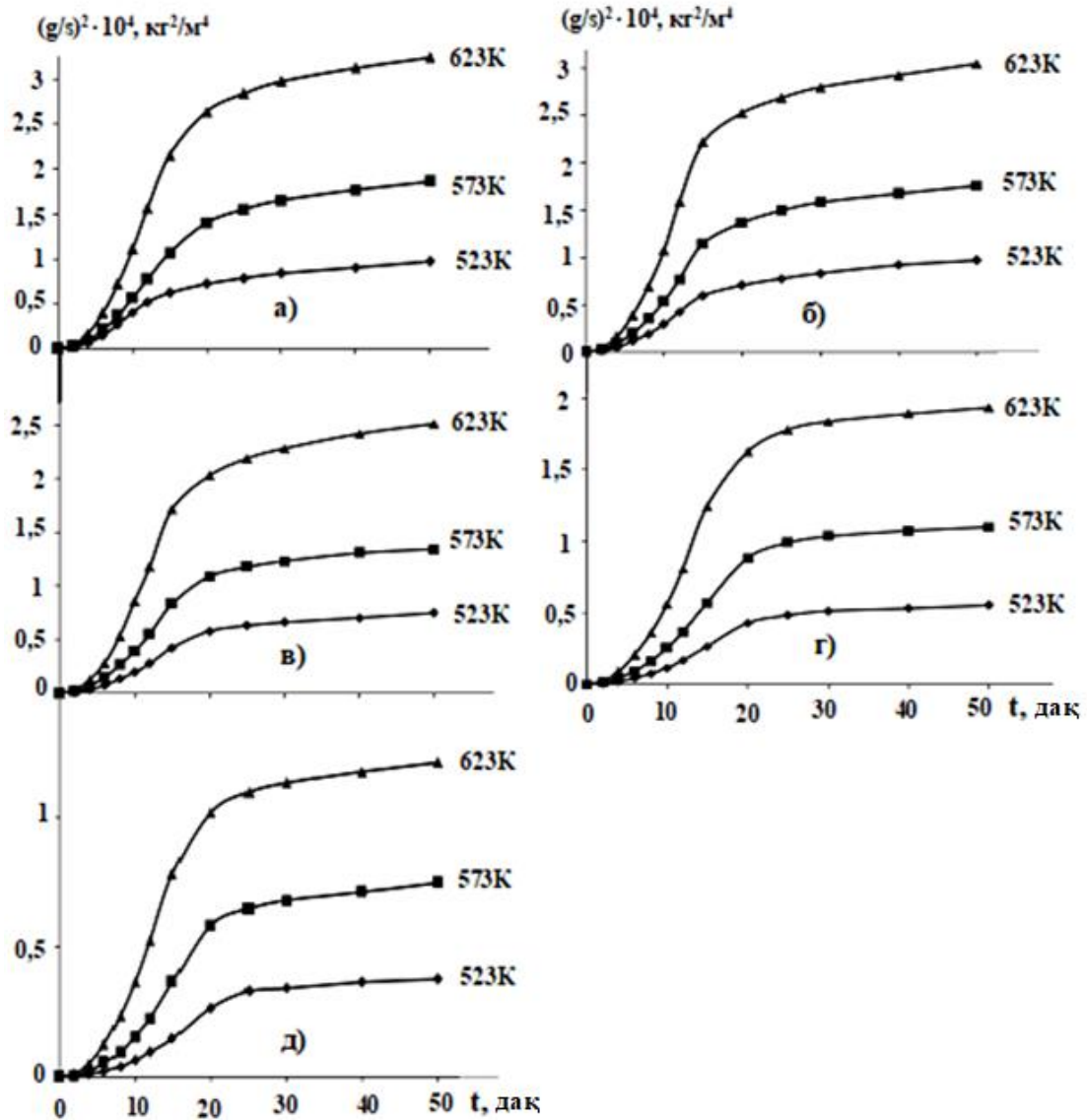


**Расми 3.18** – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий ҷавҳаронидашуда дар ҳароратҳои 523K [6-A]



**Расми 3.19** – Изохронҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий ҷавҳаронидашуда дар ҳароратҳои 623K [6-A].

Дар натиҷаи коркарди қачхатаҳои кинетикии оксидшавӣ (расми 3.17) бо ёрии барномаи *Excel* дар намуди квадратӣ маълум гардид, ки қачхатаҳо (расми 3.20) ба ифодае, ки гиперболаро тавсиф менамоянд, тобеъ гардидаанд, яъне суръати раванди оксидшавӣ бо гузаштани вақт дар натиҷаи афзоиши муқовимати диффузионӣ паст шудан мегирад (ҷадвали 3.8).



**Расми 3.20** – Қачхатаҳои кинетикии квадратии оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий, %-и вазн: 0,0 (а); 0,01(б); 0,05 (в); 0,1 (г); 0,5 (д), дар ҳолати сахтӣ [б-А]

Қачхатаҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо миқдори 0,5 %-и вазни сирконий чавҳаронидашуда дар расми 3.20 (д) оварда шудааст. Хӯлаи мазкур дар ҳароратҳои 523К, 573К ва 623К ба

оксидшавӣ тобеъ кунонида шуда буд. Качхатаҳои кинетикӣ ба қонунияти гиперболӣ тобеъ мебошанд. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ бузургии  $1,17 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  то  $3,00 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сония}^{-1}$  ташкил медиҳад ва бо бузургии пасти энергияи фаъолшавии эҳтимолии 208,26 кҶ/мол тавсиф мегардад.

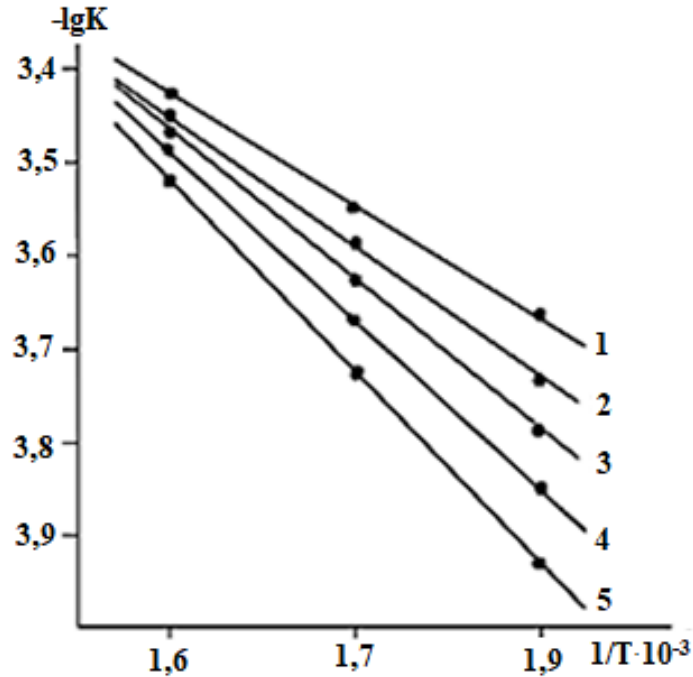
**Ҷадвали 3.8** – Натиҷаҳои коркарди качхатаҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий, дар ҳолати сахтӣ [6-A]

сирконий дар хӯлаи Zn55Al, мас. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои качхатаҳои кинетикии квадрати оксидшавии хӯлаҳо	Коэффициент регрессии R, %
0,0	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,002x^3 + 0,010x^2 + 0,660x$	0,997
	573К	$y = -0,7 \cdot 10^{-9}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-8}x^4 - 0,003x^3 + 0,029x^2 + 0,688x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^5 - 0,008x^3 + 0,095x^2 + 0,756x$	0,999
0,01	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,002x^3 + 0,026x^2 + 0,477x$	0,998
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-9}x^4 - 0,003x^3 + 0,044x^2 + 0,593x$	0,998
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,006x^3 + 0,073x^2 + 0,8x$	0,998
0,05	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,001x^3 + 0,022x^2 + 0,374x$	0,999
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,002x^3 + 0,030x^2 + 0,546x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,005x^3 + 0,061x^2 + 0,706x$	0,998
0,1	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^5 + 0,003x^3 - 0,024x^2 + 0,411x$	0,999
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^5 + 0,003x^3 - 0,031x^2 + 0,597x$	0,999
	623К	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,001x^3 + 0,021x^2 + 0,664x$	0,999
0,5	523К	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 + 0,003x^3 - 0,024x^2 + 0,315x$	0,999
	573К	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 + 0,002x^3 - 0,006x^2 + 0,368x$	0,999
	623К	$y = -0,7 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,003x^3 + 0,043x^2 + 0,433x$	0,999

Дар расми 3.21 вобастагии логарифмии  $\lg K - 1/T$  барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al (1), ки миқдори 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) %-и вазни



сирконий дорад, оварда шудаанд, ки тавсифи ростхата доранд. Аз расм маълум мегардад, ки раванди оксидшавӣ вобаста аз ҳарорати хӯлаҳои тадқиқшаванда бо зиёдшавӣ тавсиф мегардад. Качхатаҳои (2-5), ки ба хӯлаҳои Zn55Al бо сирконий чавҳаронида алоқаманданд, назар ба качхатаи (1) хӯлаи ибтидоии Zn55Al хеле поёнтар ҷойгир мебошанд.



**Расми 3.21** - Вобастагии  $\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи Zn55Al (1) бо сирконий: 0,01 (2); 0,05 (3); 0,1 (4); 0,5 (5) [6-A].

Натиҷаҳои овардашудаи коркарди качхатаҳои оксидшавӣ дар намуди вобастагии  $(g/s)^2$ -т (ҷадвали 3.8 ва расми 3.20) барои хӯлаи Zn55Al, ки миқдори 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 %-и вазн сирконий дорад, аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки тавсифи оксидшавии хӯлаҳо ба вобастагии гиперболий итоат менамояд.

Дар асоси тадқиқоти гузаронидашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаи Zn55Al бо сирконий чавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ параметрҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаҳо дар 523K, 573K ва 623K муқаррар карда шудааст. Дар ҳама ҳолатҳо оксидшавии хӯлаҳо аз рӯйи қонунияти гиперболий мегузарад. Муайян карда шудааст, ки суръати оксидшавӣ мувофиқан бо зиёдшавии миқдори сирконий дар хӯлаи Zn55Al паст мешавад. Пастшавии

суръати оксидшавӣ бо зиёдшавии мувофиқи бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ аз 154.51 то 208,26 кҶ/мол гуселонида мешавад [6-А].

### **3.6. Сахтии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ бо титан ва сирконий [5-А, 6-А, 18-А]**

Яке аз тавсифҳои нисбатан муҳим баъд аз устуворӣ сахтии масолеҳ ба ҳисоб меравад. Озмоиш ба сахтӣ ба усулҳои вайроннакунандаи (бе шикастан) санҷиш ба ҳисоб меравад, ки дар бисёр ҳолатҳо чузъро бо таъйиноти мустақим бе хароҷоти иловагӣ имкон медиҳад. Маълумоти ба таври кофии боэътимод оид ба алоқаи бузургиҳои сахтӣ бо ҳудуди ҷоришавӣ, устуворӣ мавҷуданд, ин бошад, дар навбати худ, аз тайёр кардани намунаҳои махсус барои гузаронидани санҷишҳои механикӣ ва иваз кардани онҳо нисбатан ба усулҳои соддаи санҷиш ба сахтӣ даст кашиданро имкон медиҳад.

Санҷиши сахтӣ дар саноат ва илми амалӣ васеъ паҳн гаштааст. Дар таҷрибаи ҷаҳонӣ се шкалаи асосӣ барои бо таври статикӣ муайян кардани сахтӣ – Бринел, Виккерс ва Роквел стандартӣ қунонида шудааст. Дар даҳсолаи охир тамоюлҳои нав ва чен кардани сахтӣ пайдо гаштаанд, алалҳусус усулҳои динамикӣ, ки ба принципҳои гуногун ҷоя мегиранд, вале ҳамаи онҳо ба шкалаҳои классикии усулҳои статикӣ муайян кардани сахтӣ таъсис дода шудаанд. Шартҳои санҷидани намунаҳо бояд аз рӯйи имкониятҳо бо шартҳои истифодабарии маснуот мувофиқат намоянд. Бо ин мақсад баъзан вақт дар намунаҳо нуқсонҳои сунъӣ амсила менамоянд, масалан чуқурча менамоянд (барои тағйир додани буриши кундалангии онҳо) барои баҳо додани устуворӣ ва тобоварии чузъҳо бо чуқурчаҳо ё гузаришҳои якбораи буришгоҳ [127].

Ёзандагӣ ва хосиятҳои мустаҳкамии ба зангзанӣ тобоварии галфан онро рӯйпӯше намудаанд, ки барои чузъҳои ба яхбандии амиқ тобовар ва чузъҳое, ки дарачаи баланди муҳофизатиро аз зангзанӣ талаб менамоянд, истифода бурда шавад. Дар баъзе истифодабарӣҳо рӯйпӯши галфанӣ бо 10

микрон метавонад 20-миллиметраи рӯйпӯши рӯҳандудшударо иваз намояд, ки кафшершавии хуб, чандирӣ ва тобоварӣ ба зангзаниро таъмин намояд. Ҳамин тариқ, Galfan метавонад хароҷотро паст намояд, равандҳои дуҷумдараҷаро осон гардонад ва зарурат ба коркарди минбаъдаро бартараф гардонад. Онро метавон барои рӯйпӯши ғафси рӯҳандудшуда ва коркарди минбаъдаи галваникунонӣ истифода бурда шавад.

Хӯлаи иборат аз 95% рӯҳ ва 5% алюминий сохти таркибии эвтектикӣ дорад, ки ёзандагии беҳтаринро таъмин менамояд, қабати интерметаллии тунук дар сарҳади байни пӯлод ва рӯйпӯш бошад, часпакии беҳтарини рӯйпӯшро кафолат медиҳад. Ин ду хосият истифода бурдани галфанро барои ба вучуд овардани компонентҳое, ки асосан бо мушкилӣ ташаккул меёбанд, имкон медиҳад [128].

Миёни сахтии металлҳои ёзанда, ки бо усули фишороварӣ муайян карда мешавад ва дигар хосиятҳои механикӣ (асосан ҳудуди устуворӣ) вобастагии миқдорӣ вучуд дорад.

$$\sigma_b = kH, \text{ Мпа}$$

дар ин ҷо  $H$  – сахтӣ,  $k$  – коэффитсиенте, ки аз табиат ва ҳолати таркибии металл вобаста мебошад. Аз чунин вобастагиҳои таҷрибавӣ истифода бурда, устувории металлро тахминан аз рӯйи натиҷаҳои санҷиши сатҳ баҳо додан мумкин аст [129-132].

Тадқиқоти сахтии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  (Галфан I ва Галфан II), ки бо титан ва сирконий чавҳаронида шудаанд ва коркарди ҳароратиро нагузаштаанд, аз рӯйи усули Бринел гузаронида шуда буд. Тадқиқот дар асбоби тамғаи ТШ-2 гузаронида шудааст [133]. Ба озмоиш намунаҳо бо ғафсии на зиёда аз 6 мм ва бо қутри 16 мм фаро гирифта шуда буданд. Натиҷаҳои санҷиш дар ҷадвали 3.9 пешниҳод гардидааст.

Чӣ тавре ки аз ҷадвали 3.9 дида мешавад, иловаҳои титан ба таркиби хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  аз 0,01 %-и вазн сахтии хӯлаи ибтидоиро ба ду маротиба зиёд менамояд ва ҳангоми миқдори титан то 0,5 %-и вазн сахтӣ ба чор маротиба меафзояд [5-А, 6-А, 18-А].

Иловаҳои титан аз 0,01 то 0,5 %-и вазн ба таркиби хӯлаи Zn55Al сахтии онро баланд мебардоранд (ҷадвали 3.9 ва расмҳои 3.22, 3.23).

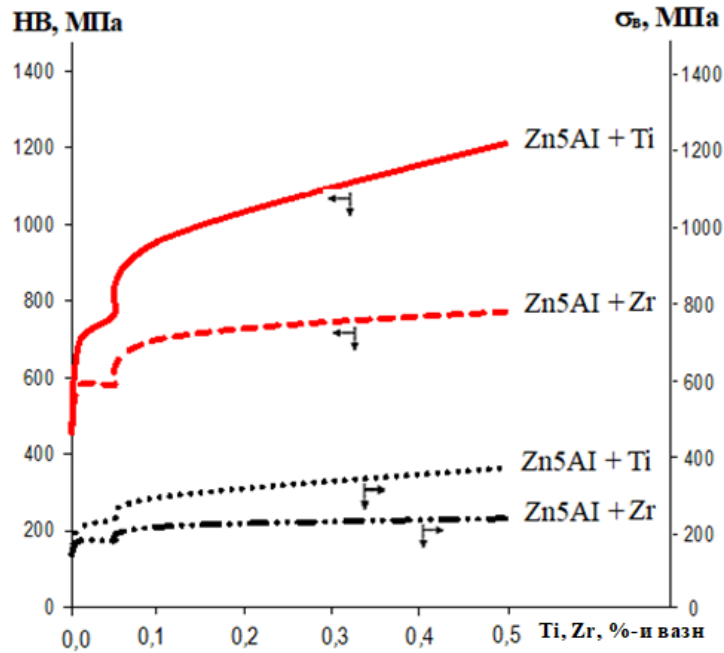
**Ҷадвали 3.9** – Сахтии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий [5-A, 6-A, 18-A]

Миқдори титан ва сирконий дар хӯлаҳо, %-и вазн	Қутри из d, мм	Сахтӣ НВ, МПа	Ҳудуди устуворӣ $\sigma_B$ , МПа
Zn5Al (1)	2,8	454	136,2
(1)+0,01%Ti	2,1	700	210,0
(1)+0,05%Ti	2	772	231,6
(1) + 0,1%Ti	1,8	956	286,8
(1) + 0,5%Ti	1,6	1211	363,3
(1)+0,01%Zr	2,3	582	174,6
(1)+ 0,05%Zr	2,3	582	174,6
(1) + 0,1%Zr	2,1	700	210,0
(1) + 0,5%Zr	2	772	231,6
Zn55Al (2)	2,7	392	98,00
(2) + 0,01%Ti	2,4	534	133,5
(2) + 0,05%Ti	2,3	582	145,5
(2) + 0,1% Ti	2,1	700	175,0
(2) + 0,5% Ti	2	772	193,0
(2) + 0,01%Zr	2,5	491	122,7
(2) + 0,05%Zr	2,4	534	133,5
(2) + 0,1% Zr	2,8	582	145,5
(2) + 0,5% Zr	2,1	637	159,2

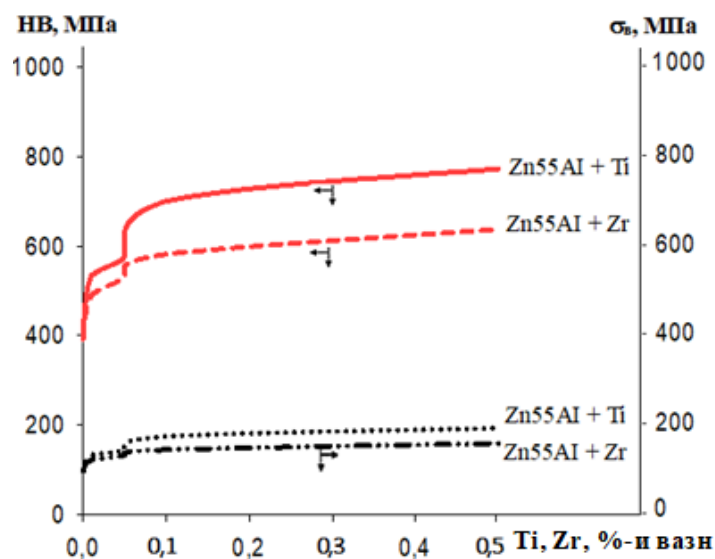
Иловаи сирконий ба таркиби хӯлаи Zn5Al то 0,01%-и вазн сахтии хӯлаи ибтидоиро андаке баланд мебардорад, иловаи сирконий ба таркиби хӯлаи

Zn55Al то 0,5%-и вазн бошад, сахтии хӯлаи ибтидоиро қариб якуним маротиба зиёд менамояд (ҷадвали 3.9 ва расмҳои 3.22, 3.23) [5-А, 6-А, 18-А].

Зиёдшавии минбаъдаи миқдори иловаҳои ҷавҳарӣ ба хеле баланд шудани сахтиҳои хӯлаҳои ибтидоӣ оварда мерасонад. Таъсири нисбатан мусбиро ба сахтии хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al иловаҳои титан, то 0,5 %-и вазн мерасонад (расми 3.22) [16-А].



**Расми 3.22** – Вобастагии сахтӣ ва ҳудуди устувории хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори титан ва сирконий [5-А, 6-А, 18-А].



**Расми 3.23** – Вобастагии сахтӣ ва ҳудуди устувории хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан ва сирконий [5-А, 6-А, 18-А].

Нисбатан таъсири мусбириро ба саҳтии хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al иловаи сирконий то 0,5%-и вазн мерасонад (расми 3.23). Афзоиши саҳтӣ дар хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда дар натиҷаи ба вуҷуд омадани пайвастагиҳои интерметаллӣ боис мегарданд [5-А, 6-А, 18-А].

Дар умум, иловаҳои титан ва сирконий ба таркиби хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al саҳтии онҳоро баланд мебардоранд [5-А, 6-А, 18-А].

### 3.7. Хулоса ба боби III

Масъалаҳои таъсири мутақобили хӯлаҳои металлӣ бо муҳитҳои агрессивии гуногун дар ҳароратҳои баланд бениҳоят муҳим ба ҳисоб мераванд, чунки бештари металлҳо ё хӯлаҳои дар техника истифодашаванда ба вайроншавӣ дучор мегарданд ё дар натиҷаи зангзанӣ ё аз сабаби оксидшавӣ дар ҳарорати баланд. Масъалаи оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо ба рамзхонии амиқ ва баҳодиҳии назариявӣ итоат менамояд. Шарти асосии боздоштани раванди оксидшавӣ хосиятҳои физикӣ-химиявӣ ва кристаллохимиявии оксиди ҳосилшуда ба ҳисоб меравад. Агар ҳаҷми оксиди ҳосилгашта хурд аз ҳаҷми хӯла шавад, он гоҳ ба даст овардани пардаи яклухт не, балки пардаи оксидии ковокидорро мунтазир шудан зарур аст. Дар ин маврид оксиген метавонад ба қаъри дохил гардад ва оксидшавӣ дар роҳи ковокиҳо ба вуҷуд ояд ва онро тезонад. Агар маҳсули оксидшавӣ моддаҳои саҳти бухоршавандаро дар бар гирад, онҳо дар сатҳи берунии намуна такшон шуда қабати оксидиро ба вуҷуд меоранд. Ҳангоми мавҷуд набудани ковокидор диффузия танҳо аз фазаи саҳт мегузарад. Элементи ҷавҳарӣ ба таркиби оксидҳои муҳофизатии хӯла дохил шуда, диффузияи ин хӯларо мушкил мегардонад, бо ҳамин сабаб раванди умумии оксидшавиро суст менамояд [120-126].

Аз рӯйи вобастагии ғайрихаттии  $(g/s)^2 - t$  хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий баҳо додан мумкин аст, ки қачхатаҳои кинетикии оксидшавӣ дар хатҳои рост намехобанд ва нишон медиҳанд, ки

раванди оксидшавии хӯлаҳо аз рӯйи қонуни гиперболӣ мегузарад. Оид ба он натиҷаҳои коркарди таҳлилии қачхатаҳои квадратии оксидшавии хӯлаҳо гувоҳӣ медиҳанд, ки дар ҷадвали 3.10 дар мисоли хӯлаи бо 0,1 ва 0,5 %-и вазни титан ва сирконий ҷавҳаронидашудаи пешниҳод гардидааст.

**Ҷадвали 3.10** – Натиҷаҳои коркарди математикии қачхатаҳои оксидшавии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахтӣ [6-A]

Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои квадратии қачхатаҳои кинематикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффисиенти регрессияи R, %
0,0	523K	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,014x^3 + 0,126x^2 + 0,415x$	0,997
	573K	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,015x^3 + 0,156x^2 + 0,422x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^5 - 0,009x^3 + 0,105x^2 + 0,721x$	0,999
0,1Ti	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-5}x^4 - 0,002x^3 + 0,027x^2 + 0,296x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,001x^3 + 0,024x^2 + 0,441x$	0,998
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,4 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,004x^3 + 0,049x^2 + 0,576x$	0,999
0,5Ti	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 + 0,016x^2 + 0,265x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 + 0,021x^2 + 0,365x$	0,998
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,002x^3 + 0,028x^2 + 0,590x$	0,999
0,1Zr	523K	$y = -0,7 \cdot 10^{-6}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,002x^3 + 0,026x^2 + 0,247x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-4}x^4 - 0,002x^3 + 0,028x^2 + 0,346x$	0,999
	623K	$y = -0,7 \cdot 10^{-7}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^4 - 0,003x^3 + 0,037x^2 + 0,554x$	0,998
0,5 Zr	523K	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 + 0,015x^2 + 0,183x$	0,999
	573K	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,010x^2 + 0,318x$	0,999
	623K	$y = -0,6 \cdot 10^{-1}x^5 - 0,5 \cdot 10^{-6}x^4 - 0,002x^3 + 0,032x^2 + 0,415x$	0,999

Қачхатаҳои вобастагии  $(g/s)^2 - t$  ба муодилаи  $Y = kt^n$  итоат менамоянд, ки дар он  $n$  аз 2 то 4 вобаста аз таркиби хӯлаи оксидшаванда тағйир меёбад (ҷадвали 3.1, 3.2 ва расми 3.2).

Чамъбасти бузургиҳои энергияи фаъолшавии эҳтимолии раванди оксидшавии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий бо миқдори гуногун нишон медиҳад, ки миёни элементҳои чавҳарӣ бузургии калонтарини энергияи фаъолшавии эҳтимолиро хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий доро мебошад (ҷадвали 3.10).

Дар ҷадвали 3.11 барои муқоиса бузургиҳои энергияи фаъолшавии эҳтимолии раванди оксидшавии хӯлаҳои сахтӣ рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий чамъбаст карда шудаанд. Чӣ тавре ҷадвал нишон медиҳад, бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимоли аз титан ба сирконий меафзоянд. Раванди таъсири мутақобили компонентҳои оксидкунанда бо хӯла тахминан аз ибтидоӣ раванди оксидшавӣ ба 25-30 дақиқаҳо ба анҷом мерасад. Ҳама қачхатаҳои кинетикӣ намуди гиперболи доранд (расмҳои 3.2, 3.7, 3.11, 3.12, 3.13, 3.17, 3.20). Аз рӯи вобастагии ғайрихаттии қачхатаҳои кинетикии  $(g/s)^2-t$  оксидшавии бо титан ва сирконий чавҳаронидашудаи хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al, ки дар хатҳои рост намехобанд, қайд кардан мумкин аст, ки раванди оксидшавии хӯлаҳо аз рӯи қонуниятҳои гиперболи мегузарад.

**Ҷадвали 3.11** – Вобастагии энергияи фаъолшавии эҳтимолии раванди оксидшавии хӯлаҳои сахтӣ рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn5Al аз миқдори титан ва сирконий [4-А, 6-А, 17-А]

Ҳарорати оксидшавӣ, К	Хӯла ва компоненти чавҳарии он	Энергияи фаъолшавии эҳтимоли, кҶ/мол				
		Миқдори иловаҳо дар хӯла, %-и вазн				
		-	0.01	0.05	0.1	0.5
523К 573К 623К	Zn5Al	128,84	-	-	-	-
	Ti	-	137,84	144,06	158,12	179,90
	Zr	-	135,88	147,38	164,22	187,84
523К 573К 623К	Zn55Al	154,51	-	-	-	-
	Ti	-	165,16	174,18	192,56	203,82
	Zr	-	160,06	171,07	190,64	208,26

Дар асосҳои тадқиқоти гузаронидашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий дар ҳолати сахтӣ қонуниятҳои зерини тағйирёбии тавсифҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавӣ муқаррар карда шудааст:



- муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гиперболӣ бо суръати ҳақиқии оксидшавии тартиби  $10^{-4}$   $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сония}^{-1}$  итлоат менамояд;

- нишон дода шудааст, ки бузургҳои ниҳоят камтарини суръати оксидшавиро хӯлаҳои Zn55Al бо сирконий доранд, зиёдтарин бошанд – ба хӯлаҳои Zn5Al бо титан дахл доранд;

- ҳангоми оксидшавии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al ба таври мувофиқ бо зиёдшавии ҳарорат афзоиши мунтазами суръати оксидшавӣ қайд карда мешавад, бо зиёдшавии таркиби иловаҳо бошад, суръати оксидшавӣ паст мешавад. Пардаҳои оксидии  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва ZnO, ки дар марҳалаҳои ибтидоии раванд ба вуҷуд меоянд, шояд хосиятҳои муҳофизатии сусти доранд. Раванди оксидшавӣ бо андозаи афзоиши ғафсии пардаи оксидӣ сусти мегардад, тавсифи раванди мазкур – гиперболӣ мебошад.

- суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаҳои тадқиқшаванда аз ҳарорати раванд ва аз таркиби компонентҳои ҷавҳарӣ вобаста мебошад (ҷадвалҳои 3.1-3.8 ва расмҳои 3.2 (а), 3.7 (а), 3.12 (а), 3.17 (а));

- ҷавҳаронидан бо титан ва сирконий хӯлаҳои ибтидоии Zn5Al ва Zn55Al оксидшавии хӯлаҳои ибтидоиро кам мекунад. Камшавии суръати оксидшавӣ бо баландшавии муносиби энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ дар ҳама ҳолатҳо гуселонида мешавад (ҷадвалҳои 3.1-3.8 ва расмҳои 3.2, 3.7, 3.11, 3.12, 3.13, 3.17, 3.20);

- хӯлаҳои Zn5Al бо титан ва сирконий бузургҳои аз ҳама пастии суръати ҳақиқии оксидшавиро доранд (ҷадвалҳои 3.1 ва 3.5). Бузургии калонтарини суръати ҳақиқии оксидшавиро хӯлаҳои Zn55Al бо титан ва сирконий доранд (ҷадвалҳои 3.3 и 3.7). Аз ҳама бузургии пасттарини суръати ҳақиқии оксидшавӣ ба хӯлаи Zn5Al бо сирконий муносиб мебошад (ҷадвали 3.5).

Дар умум, тадқиқоти овардашудаи кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои Zn5Al ва Zn55Al бо титан ва сирконий нишон медиҳанд, ки иловаҳои титан ва сирконий дар ҳудудҳои миқдори омӯхташаванда (0.01...0.5 %-и вазн) оксидшавии хӯлаҳои ибтидоиро зиёд мекунанд. Камшавии суръати оксидшавӣ бо зиёдшавии бузургии энергияи фаъолшавии эҳтимолӣ дар ҳама ҳолатҳо гуселонида мешавад. Инак, алоқаи бевосита миёни оксидшавӣ ва хосиятҳои физикӣ-химиявии элементҳои гуруҳҳои чорум ва панҷуми ҷадвали даврӣ ҷой дорад [4-А, 6-А, 17-А].

## БОБИ IV. ТАДҚИҚОТИ РАФТОРИ АНОДИИ ХҶЛАҲОИ РҶҲӢ- АЛЮМИНИЙИ $Zn5Al$ ВА $Zn55Al$ БО ТИТАН ВА СИРКОНИЙ ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ $NaCl$

### 4.1. Методикаи тадқиқоти хосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ

Ҷамасола зангзанӣ ба талафоти миллиардӣ оварда мерасонад, ки ҳалли ин масъала вазифаи муҳим ба ҳисоб меравад. Талафоти асосии ба вучуд омадаистода асосан ба арзиши бениҳоят зиёди иншоот ва таҷҳизоти металлӣ асоснок карда мешаванд, ки аз таъсири зангзанӣ вайрон мегарданд. Аз ҳамин ҷиҳат талафоти солона аз таъсири зангзанӣ дар давлатҳои саноатии тараққиқарда бениҳоят зиёданд. Зарари ҳақиқии таъсири зангзаниро танҳо бо баҳо додани талафоти мавҷудбуда, ки ба онҳо арзиши конструксияи вайроншуда, нархи ивази таҷҳизот, харочот барои чорабинӣ оид ба ҳимоя аз зангзанӣ дохил мешаванд, муайян кардан мумкин нест. Боз зарари бештарро талафоти ғайримустақим ташкил медиҳанд. Ин ҳам бошад, бозистодани таҷҳизот ҳангоми ивази ҷузъҳо ва гиреҳҳои зангхӯрда, ихроҷи равған, вайрон гардидани раванди технологӣ [127].

Алюминий нисбат ба рӯҳ дар муҳитҳои бештар аз сабаби қабати сатҳи монеагии он аз оксиди алюминийи ғайрифаъол оҳистатар занг мезанад. Аммо ин қабати ғайрифаъол ба алюминий имкон намедиҳад, ки саҳми мувофиқро ба муҳофизати катодӣ дохил намояд. Муҳофизати катодӣ тарафи устувори рӯйпӯшҳои рӯҳӣ ба ҳисоб меравад, чунки агар рӯйпӯш бурида ё харошида шуда бошад, рӯҳ дар назди пӯлоди кушода аввал шуда занг мезанад. Галфанҳо ( $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ ) дар худ тарафҳои пурзӯри ҷӣ рӯҳ ва ҷӣ алюминийро дар бар гирифта, муҳофизати монеагии хуби ғайрифаъолро назар ба рӯҳандуди оддӣ ва муҳофизати бештарро назар ба рӯйпӯшҳои ҷавҳаронидашуда бо миқдорҳои камтарини рӯҳ таъмин менамоёнд [128].

Методикаи ба даст овардани хӯлаҳо аз тарафи мо дар боби 2.2 оварда шудааст. Аз хӯлаҳои дар оташдони тамғаи СШОЛ ба даст овардашуда

намунаҳои цилиндри бо дарозии 140 мм ва қутри 8 мм рехта шуданд, ки нӯги онҳо ҳамчун электроди корӣ хизмат намуданд. Тадқиқот дар потенциостати ПИ-50-1.1 бо худнависи ЛКД-4 дар муҳити электролити NaCl зери суръати кушоиши потенциали  $2 \text{ мВ} \cdot \text{сония}^{-1}$  аз рӯйи методикаҳое, ки дар корҳои [129-136] шарҳ дода шудааст, гузаронида шудааст. Ба сифати электроди муқоисавӣ хлорид-нукрагӣ истифода бурда шудааст. Ҳамаи қимати потенциалҳо нисбат ба ҳамин электрод оварда шудаанд.

Барои тадқиқоти электрохимиявӣ намунаҳо дар самти мусбӣ аз қимати потенциали зангзании озод то ҳамон сатҳе, ки дар он бузургии зичии ҷараёни зангзанӣ то ҳадди  $1 \text{ А/м}^2$  мерасад, поляризатор шуданд (расми 4.1, қачхатаи I).

Баъд аз ин поляризатор дар самти муқобил то расидан ба қимати потенциали  $-0,80 \text{ В}$  амалӣ гардид (расми 4.1, қачхатаи II), ки дар ин маврид сатҳи намуна аз ишқор (NaOH) сер мегардад (расми 4.1, қачхатаи III).

Потенциали ибтидои пассиватсияшавӣ ва питтингҳосилкунӣ ҳангоми гузариш ба поляризатории анодӣ бо роҳи поляризатории такрорӣ ба самти мусбӣ ба қайд гирифта шудааст (расми 4.1, қачхатаи IV).

Аз рӯйи қачхатаҳои пурраи поляризатории потенциалҳои зангзании озод ( $E_{\text{занг.оз.}}$ ), репассиватсия ( $E_{\text{реп.}}$ ), питтингҳосилкунӣ ( $E_{\text{п.х.}}$ ), зангзанӣ ( $E_{\text{занг.}}$ ), ибтидо ( $E_{\text{иб.п.}}$ ) ва пурра ( $E_{\text{п.п.}}$ ), инчунин зичии ҷараёни зангзаниро ( $i_{\text{занг.}}$ ) муқаррар намудем.

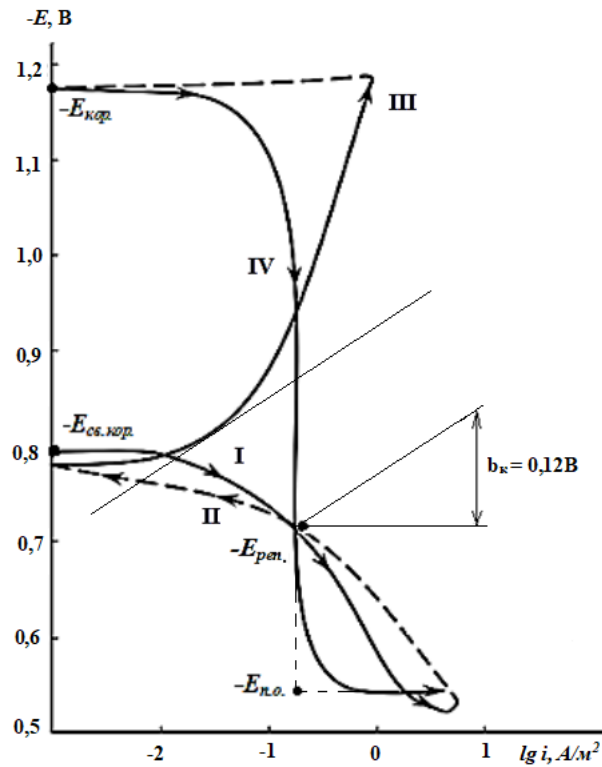
Бо роҳи коркард намудани қачхатаҳо васеъгии минтақаи пассивиро ( $\Delta E_{\text{пас.}}$ ) аз рӯйи муодилаи  $\Delta E_{\text{пас.}} = (E_{\text{п.п.}} - E_{\text{п.х.}})$ , питтингустувории намунаҳоро ( $\Delta E_{\text{п.х.}}$ ) аз рӯйи муодилаи  $\Delta E_{\text{п.х.}} = (E_{\text{п.х.}} - E_{\text{занг.оз.}})$ , инчунин суръати зангзаниро (К) муайян намудем. Ҳисоби суръати зангзаниро аз рӯйи қачхатаҳои катодӣ иҷро намудем. Зичии ҷараён зангзанӣ  $(0,001-0,005) \cdot \text{А} \cdot \text{м}^{-2}$  –ро ташкил намуд, натиҷаҳои ченкунии потенциалҳои электрохимиявӣ бошад, ба  $\pm 5 \dots \pm 10 \text{ мВ}$  баробар гардид. Дар ин маврид доимии тафелӣ ( $b_k = 0,12 \text{ В}$ ) ба инобат гирифта шуд.

Суръати умумии равандро (К) аз рӯйи муодилаи зерин ҳисоб намудем

$$K = i_{\text{кор.}} \cdot k,$$

дар ин чо:  $k$  – эквиваленти электрохимиявӣ, ки қимати ададии он барои рӯҳ ба  $1,22 \text{ г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{соат}^{-1}$ , барои алюминий ба  $0,335 \text{ г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{соат}^{-1}$  баробар мебошад.

Дар расми 4.1 ҳамчун мисол диаграммаи поляризатсияшавии пурра барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки 0,01 %-и вазн титан дорад, дар муҳити электролити 3,0%-и NaCl пешниҳод карда шудааст.



**Расми 4.1** – Қаҷхатаи поляризатсионии потенциодинамикии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо миқдори 0,01 %-и вазни титан, дар муҳити электролити 3,0%-и NaCl.  $E$  - потенциал (В),  $i$  – зичии ҷараён ( $\text{А} \cdot \text{м}^{-2}$ ) [3-А, 6-А]

#### 4.2. Рафтори анодии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан дар муҳити электролити NaCl [3-А, 6-А, 11-А]

Рӯҳ бо 5% алюминий хӯлаи эвтектикӣ ҳисобида мешавад. Таркиби эвтектикӣ таносуби элементҳое мебошад, ки аз ҳама ҳарорати пасти гудохташавӣ доранд ва он дар буриши қаҷхатаҳои ликвидуси элементҳо дар диаграммаи фазаӣ ҷойгир мебошад. Эвтектика нуқтаи беҳамтоӣ ҳароратӣ-композиционӣ барои ду ҷида элементҳо ба ҳисоб меравад. Пастшавии ҳарорат каме аз ҳарорати эвтектикӣ ба реаксияе меорад, ки дар он ҳамаи

маҳлули сууқ то ҳолати пурраи сахтӣ ҳангоми ин ҳарорат шах мешавад [136].

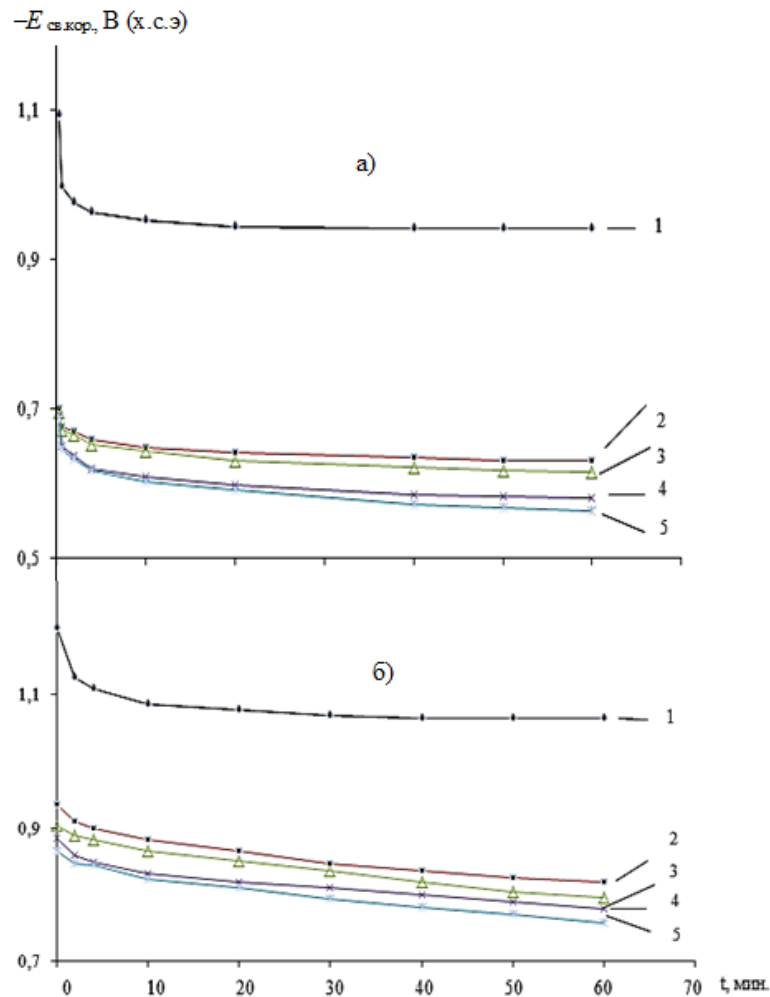
Натиҷаҳои тадқиқоти зангзанӣ-электрохимиявии ҳӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ҷавҳаронидашуда дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl дар ҷадвалҳои 4.1- 4.4 ва расмҳои 4.2 - 4.4 пешниҳод гардидаанд.

**Ҷадвали 4.1** – Вобастагии муваққатии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди ( $-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) ҳӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, аз миқдори титан дар муҳити электролити NaCl [3-А, 6-А, 9-А, 11-А]

Муҳити NaCl, %- вазн	миқдори титан дар ҳӯла, %-и вазн	$(-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) ҳангоми нигоҳдорӣ, дақ.							
		0,3	0,6	2	4	10	20	40	60
0,03	0,00	1,054	1,012	0,998	0,976	0,963	0,952	0,940	0,940
	0,01	0,692	0,681	0,676	0,668	0,656	0,648	0,634	0,624
	0,05	0,691	0,678	0,672	0,664	0,652	0,642	0,630	0,620
	0,1	0,690	0,656	0,650	0,636	0,620	0,608	0,574	0,556
	0,5	0,668	0,652	0,645	0,632	0,616	0,602	0,571	0,554
3,0	0,00	1,170	1,138	1,126	1,109	1,086	1,077	1,066	1,064
	0,01	0,929	0,910	0,900	0,888	0,864	0,842	0,828	0,794
	0,05	0,901	0,898	0,895	0,880	0,876	0,860	0,810	0,790
	0,1	0,874	0,865	0,860	0,850	0,832	0,826	0,802	0,780
	0,5	0,857	0,852	0,848	0,844	0,824	0,814	0,793	0,754

Ҳангоми омӯختани рафтори зангзанӣ-электрохимиявии ҳӯлаҳои мазкур вобастагии потенциали электродҳо аз вақт дар муддати як соат нигоҳдорӣ дар маҳлули электролит тадқиқ шуда буд. Натиҷаҳо нишон доданд, ки ҷавҳаронидани ҳӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий бо титан потенциали электродии ҳӯлаи рӯҳиро ба минтақаи мусбӣ ҷойгардон менамояд, ки бо динамикаи ба вучуд омадани пардаи оксидии муҳофизатӣ фаҳмонида

мешавад ва дар 50-ум дақиқаҳо аз ибтидои ғарқкунии электрод дар электролит ба анҷом мерасад (ҷад. 4.1 ва рас. 4.2) [3-А, 6-А,9-А, 11-А].



**Расми 4.2** – Тағйирёбии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (1) дар мудати вақт бо титан (%-и вазн): 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) дар муҳити электролити 0,03% (а) ва 3,0%-и (б) NaCl [3-А, 6-А,9-А, 11-А]

Ҳангоми ғарқкунии намунаҳои хӯлаҳо дар муҳити электролити 0,03% ва 3,0%-и NaCl потенциали зангзании озод дар марҳилаи аввал қимати манфӣ дорад, вале дар муддати 5-20 дақиқа ба тарафи мусбӣ ҷойгардон мешавад. Нигоҳдории минбаъда дар давоми соат ба муқаррар кардани потенциали статсионарӣ меоварад, ки бо ташаккулёбии пардаҳои муҳофизатӣ дар сатҳи намунаҳо алоқамандӣ дорад [3-А, 6-А,9-А, 11-А].

Тавсифҳои электрохимиявии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан, ки ҳангоми суръати васеъшавии потенциали 2 мВ/сония ба қайд гирифта шудаанд, дар ҷадвали 4.2 ҷамъ оварда шудаанд.

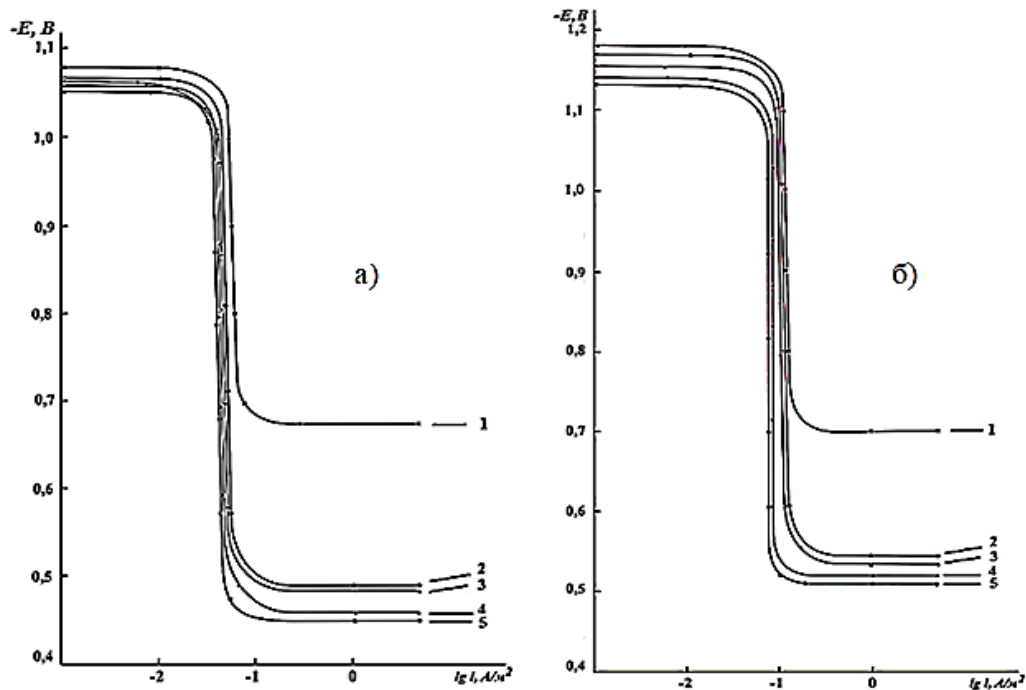
**Ҷадвали 4.2** – Тавсифҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан дар муҳити электролити NaCl [3-А, 9-А, 11-А]

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (э.х.н.)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{занг.оз.}$	$-E_{занг.}$	$-E_{н.х.}$	$-E_{реп.}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^3, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot c^{-1}$
0,03	-	0,940	1,080	0,676	0,800	0,101	1,23
	0,01	0,624	1,067	0,490	0,500	0,028	0,34
	0,05	0,620	1,064	0,485	0,500	0,025	0,30
	0,1	0,556	1,060	0,460	0,480	0,021	0,25
	0,5	0,554	1,053	0,450	0,470	0,017	0,20
3,0	-	1,064	1,180	0,700	0,900	0,110	1,34
	0,01	0,794	1,172	0,544	0,720	0,039	0,47
	0,05	0,790	1,156	0,534	0,700	0,034	0,41
	0,1	0,780	1,142	0,520	0,690	0,030	0,36
	0,5	0,754	1,132	0,510	0,670	0,026	0,31

Дидан мумкин аст, ки иловаҳои титан ба хӯлаи Zn5Al чанде потенциалҳои зангзанӣ, пitting-хосилкунӣ ва репассиватсияро ба тарафи мусбӣ мекӯчонанд. Иловаҳои ночизи титан (0,01...0,05%-вазн) камшавии зичии ҷараёни зангзаниро ба вуҷуд меоранд ва ба таври мувофиқ суръати зангзании хӯлаи ибтидоии Zn5Al-ро бештар аз 4-5 маротиба аст [3-А, 6-А, 9-А, 11-А].

Дар расми 4.3 а, б қачхатаҳои поляризатсионии потенциодинамикии анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl мутобиқан пешниҳод гардидаанд. Дида мешавад, ки қачхатаҳое, ки ба хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда (0,01 – 0,5 %-и вазн) дахлдошта дар минтақаи нисбатан қиматҳои мусбӣи потенциалҳо дар муқоиса бо қачхатаи ба хӯлаи ибтидоии Zn5Al алоқамандбуда ҷойгиранд.

Дар ҷадвали 4.3 вобастагии потенциали питтингҳосилкунии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан, дар ду муҳити тадқиқотии электролити NaCl пешниҳод карда шудаанд. Потенциали питтингҳосилкунии  $E_{п.х.}$  барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо миқдори гуногуни титан дар муҳити маҳдули 0,03%-и электролити NaCl дар фосилаҳои аз -0,490 то -0,450В ҷойгир мебошад, дар муҳити 3,0% -и электролити NaCl бошад, бо қиматҳои аз - 0,544В то -0,510В тағйир меёбад (ҷадвали 4.3).



**Расми 4.3** – Қаҷхатаҳои поляризатсионии потенциодинамикии (2мВ/с) анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (1) бо титан, %-и вазн: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5), дар муҳити электролити 0,03 % (а) ва 3,0 %-и (б) NaCl [3-А, 6-А, 9-А, 11-А].

**Ҷадвали 4.3** – Вобастагии потенциали питтингҳосилкунии ( $-E_{п.х.}$ , В) хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан аз консентратсии электролити NaCl

Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl	3,0% NaCl
0,00	0,676	0,700
0,01	0,490	0,544
0,05	0,485	0,534
0,1	0,460	0,520
0,5	0,450	0,510



Ҳангоми чавҳаронидани хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо титан дар худудҳои 0,01...0,5 %-и вазн, суръат ва зичии чараёни зангзанӣ киматҳои камтарин доранд (ҷадвали 4.4).

**Ҷадвали 4.4** – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори титан дар муҳити электролити NaCl [3-А, 6-А,9-А, 11-А]

Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl		3,0% NaCl	
	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, \text{г} \cdot m^2 \cdot соат^{-1}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, \text{г} \cdot m^2 \cdot соат^{-1}$
0,00	0,101	1,23	0,110	1,34
0,01	0,028	0,34	0,039	0,47
0,05	0,025	0,30	0,034	0,41
0,1	0,021	0,25	0,030	0,36
0,5	0,017	0,20	0,026	0,31

Аз ҷадвали 4.4 маълум аст, ки хӯлаҳои титандошта бо киматҳои нисбатан пасти суръати зангзанӣ назар ба хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминӣ тавсиф мегарданд. Вобастагии муқарраркардашуда бо тағйирёбии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо миқдори гуногуни титан мувофиқат менамояд.

Бо афзудани дараҷаи ғализии хлорид-ион дар электролити NaCl зичии чараён барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al 0,101 ва 0,110 А/м<sup>2</sup> ташкил медиҳад, барои хӯлае, ки 0,05 %-и вазн титан дорад - 0,025 ва 0,034 А/м<sup>2</sup>, мувофиқан, дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl (ҷадвали 4.4). Чӣ тавре дида мешавад, хӯлаҳо бо титан назар ба хӯлаи ибтидоӣ суръати зангзании хурдтар доранд [3-А, 6-А,9-А, 11-А].

Дар умум, тадқиқотҳои электрохимиявӣ нишон медиҳанд, ки иловаҳои титан бо миқдори 0,01 – 0,5 %-и вазн устувории анодии хӯлаи ибтидоии Zn5Al-ро дар муҳити электролити NaCl баланд мебардоранд (ҷадвали 4.2). Таркиби сегонаи хӯлаҳои коркардашуда метавонанд ба сифати рӯйпӯшҳои зиддзангзанӣ барои муҳофизат аз зангзании маснуот ва иншооти пӯлодӣ итстифода бурда шаванд [3-А, 6-А, 9-А, 11-А].

### 4.3. Рафтори анодии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳити электролити NaCl [6-A, 9-A]

Тадқиқоти рафтори зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳити электролити хлориди натрий бо дараҷаҳои 0,03 ва 3,0% дар потенциостати ПИ-50.1.1 бо суръати кушоиши потенциали  $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$  бо баромад ба барномасози ПР-8 ва худнависи ЛКД-4 гузаронида шуд.

Натиҷаҳои тадқиқоти зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳити электролити 0,03% ва 3,0%-и NaCl дар ҷадвали 4.5-4.8 ва дар расмҳои 4.4 - 4.5 пешниҳод карда шудаанд.

Дар ҷадвали 4.5 натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии потенциали зангзании озод аз вақт барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳитҳои дар боло зикргардидаи электролити NaCl оварда шудааст, ки дар давоми соат ба қайд гирифта шуда буд. Барои ҳаммаи гурӯҳи хӯлаҳои тадқиқгардида ҷойгардоншавии потенциал ба минтақаи мусбӣ ба қайд гирифта шудааст, ки бо динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидии муҳофизатӣ баён карда мешавад, ки дар 35-45-ум дақиқаҳо ба анҷом мерасад ва аз таркиби химиявии хӯлаҳо вобастагӣ дорад. Инак, баъди як соати нигоҳдорӣ дар маҳлули 0,03%-и хлориди натрий потенциали зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al  $-0,766 \text{ В}$  –ро ташкил медиҳад, барои хӯлаи бо 0,5 %-и вазни титан ҷавҳаронидашуда бошад  $-0,640 \text{ В}$  –ро ташкил медиҳад (ҷадвали 4.5) [6-A, 7-A, 9-A].

Потенциали зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al баъди як соат нигоҳ доштан дар маҳлули 3,0 %-и хлориди натрий  $-0,910 \text{ В}$  –ро ташкил медиҳад, барои хӯлаи бо 0,5 %-и вазни титан ҷавҳаронидашуда бошад  $-0,660 \text{ В}$  –ро ташкил медиҳад (ҷадвали 4.5) [6-A, 9-A].

Агар  $E_{\text{занг.оз.}}$ -ро барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда муқоиса намоем, қайд кардан мумкин аст, ки ниҳоят қимати мусбӣи потенциалро хӯлаи Zn55Al дар маҳлули 0,03%-и хлориди

натрий доро мебошад ва ниҳоят қимати манфии потенциали мазкур ба хӯлаи Zn55Al дар маҳлули 3%-и хлориди натрий дахл дорад (ҷадвали 4.5) [6-А, 9А].

**Ҷадвали 4.5** – Вобастагии муваққатии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди ( $-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан дар муҳити электролити NaCl [6-А, 9-А]

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	$(-E_{\text{занг.оз.}}, \text{В})$ ҳангоми нигоҳдорӣ, дақиқа							
		0,3	0,6	2	4	10	20	40	60
0,03	0,00	0,992	0,770	0,766	0,763	0,760	0,992	0,770	0,766
	0,01	0,763	0,752	0,748	0,740	0,727	0,712	0,672	0,654
	0,05	0,759	0,749	0,745	0,736	0,714	0,696	0,664	0,650
	0,1	0,755	0,744	0,740	0,730	0,710	0,692	0,660	0,645
	0,5	0,750	0,740	0,736	0,726	0,706	0,687	0,656	0,640
3,0	0,00	1,041	0,915	0,910	0,900	0,880	1,041	0,915	0,910
	0,01	0,892	0,867	0,857	0,834	0,812	0,797	0,774	0,744
	0,05	0,887	0,862	0,850	0,824	0,796	0,780	0,750	0,740
	0,1	0,872	0,840	0,838	0,816	0,782	0,767	0,744	0,724
	0,5	0,846	0,806	0,786	0,764	0,740	0,728	0,694	0,660

Натиҷаҳои тадқиқоти тавсифи зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳити электролити NaCl дар ҷадвали 4.6 чамъ оварда шудаанд.

Аз ҷадвал дида мешавад, ки илова кардани титан бо миқдорҳои ночиз (0,01-0,5% аз рӯйи вазн) ба таркиби хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn55Al потенциалҳои зангзании озод ( $-E_{\text{занг.оз.}}$ ) ва пингтингҳосилкуниро ( $-E_{\text{н.х.}}$ ) ба тарафи мусбӣ мекуҷонад [6-А, 9-А].

Потенциали пингтингҳосилкуни ( $-E_{\text{н.х.}}$ ) барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al, ки миқдори гуногуни титан дорад, дар муҳити маҳлули 0,03%-и NaCl

қиматҳои дар фосилаҳои аз -0,480 то -0,440В дорад, дар муҳити маҳлули 3%-и NaCl бошад, қиматҳои аз -0,626 то -0,560В дорад (ҷадвали 4.6).

**Ҷадвали 4.6** – Таъсири таъсири зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар муҳити электролити NaCl [6-А, 9-А].

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (э.х.н.)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{занг.оз.}$	$-E_{занг.}$	$-E_{п.х.}$	$-E_{рен.}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^3, \Gamma \cdot M^{-2} \cdot c^{-1}$
0,03	-	0,880	1,010	0,664	0,860	0,030	0,233
	0,01	0,654	0,994	0,480	0,620	0,028	0,218
	0,05	0,650	0,966	0,472	0,620	0,026	0,202
	0,1	0,645	0,950	0,456	0,610	0,024	0,187
	0,5	0,640	0,940	0,440	0,600	0,022	0,171
3,0	-	1,022	1,044	0,810	0,924	0,038	0,296
	0,01	0,864	1,010	0,626	0,856	0,034	0,265
	0,05	0,856	1,007	0,600	0,840	0,033	0,257
	0,1	0,849	1,000	0,580	0,826	0,032	0,249
	0,5	0,840	0,994	0,560	0,810	0,031	0,241

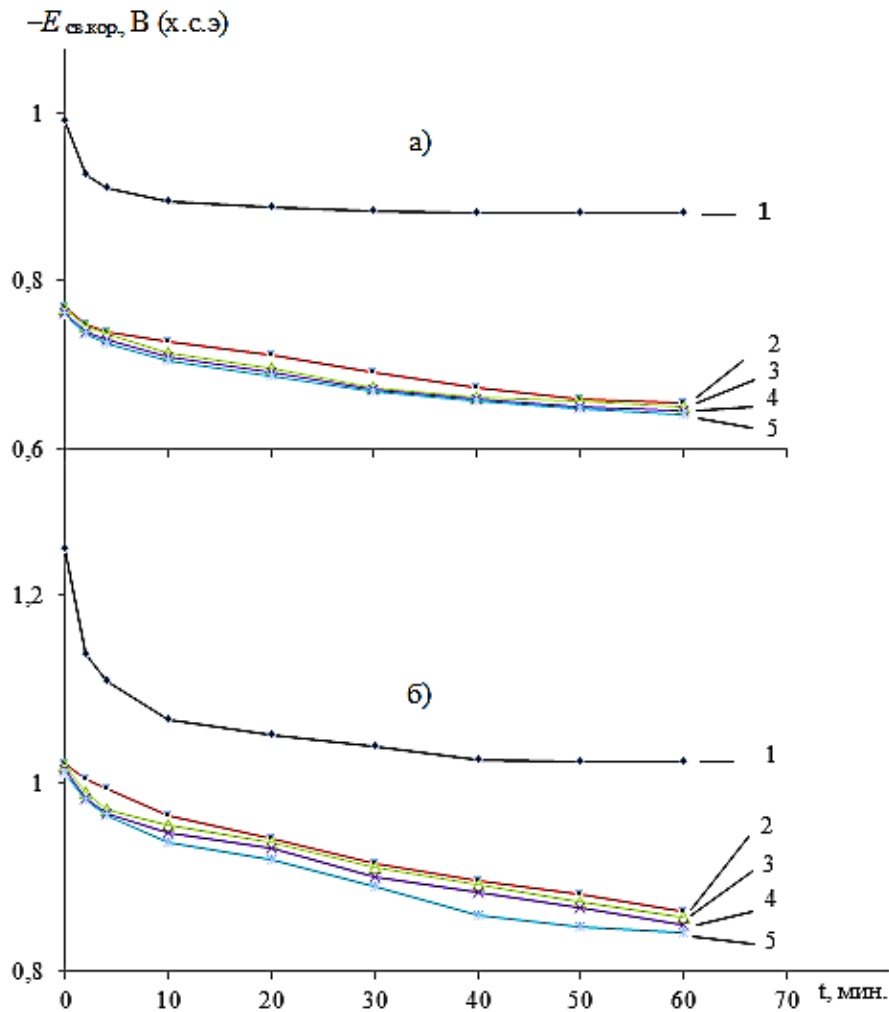
Бо афзоиши дараҷаи ғализии хлорид-ион потенциали зангзании озод ба минтақаи манфӣ мекуҷад. Вобастагии мазкур барои ҳаммаи гурӯҳи хӯлаҳои тадқиқшаванда новобаста аз таркиби химиявии онҳо, яъне миқдори иловаи ҷавҳарӣ - титан ҷой дорад (ҷадвали 4.6).

Натиҷаҳои пешниҳодшудае, ки дар ҷадвали 4.6 ва дар расми 4.4 пешниҳод гардидаанд, қиматҳои потенциали зангзании озоди муқарраршударо дар давоми вақт барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан дар ду муҳити тадқиқшавандаи электролити NaCl нишон медиҳанд, ки дар давоми як соат ба қайд гирифта шуда буд.

Ҷойивазкунии ночизи потенциал ба самти мусбӣ қиматҳо ҷой дорад. Ғайр аз ин, дида мешавад, ки баъд аз 40 дақиқа ҷараёни ташаккулёбии пардаи муҳофизатии оксидӣ ба анҷом мерасад.

Потенциали зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан меафзояд, аз дараҷаи ғализии хлорид-ион бошад, хурд мешавад (расми

4.4). Чунин тамоюл дар муҳити маҳлули 0,03 ва 3,0 %-и NaCl ҷой дорад (ҷадвали 4.6) [6-А, 9-А].

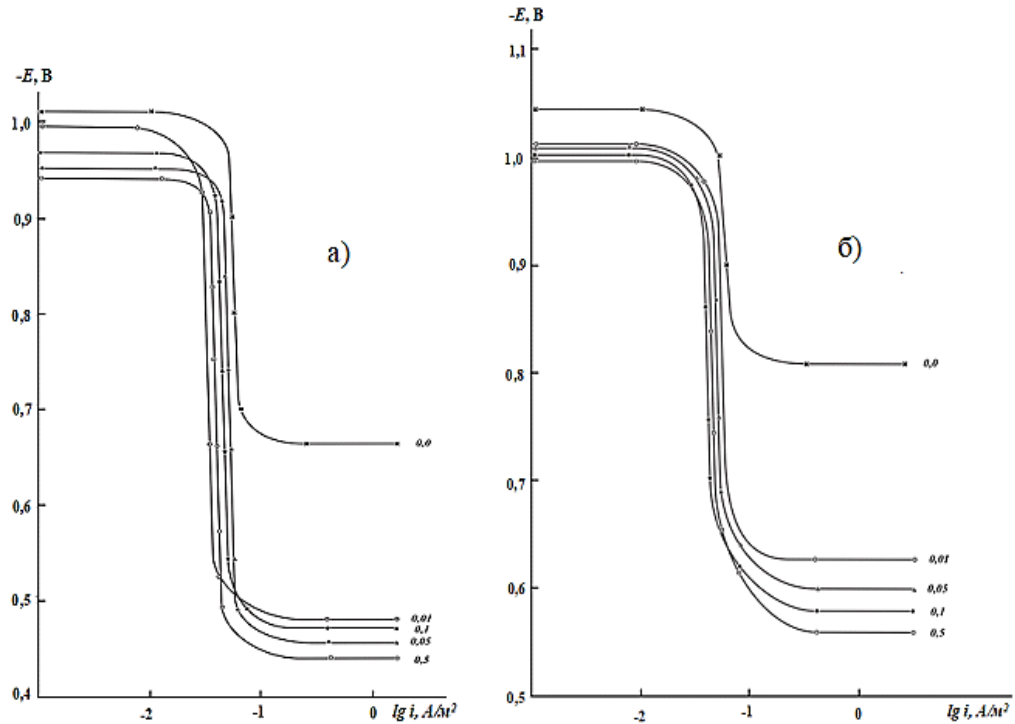


**Расми 4.4** – Тағйирёбии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al (1) дар давоми вақт бо титан (%-и вазн): 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) дар муҳити электролити 0,03% (а) ва 3,0%-и (б) NaCl [6-А, 9-А].

Дар расми 4.5 а, б қачхатаҳои поляризатсионнии потенциодинамикии анодии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан нишон дода шудааст.

Аз расми 4.5 а,б дидан мумкин аст, ки қачхатаҳои анодии дар минтақаи нисбатан мусбии қиматҳои потенциал ҷойгирбуда ба хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар ҳудудҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн ҷавҳаронидашуда дар фарқият бо қачхатаи ба хӯлаи ибтидоии Zn55Al дахл доранд. Иловаҳои титан

дар ҳудудҳои омӯхташаванда суръати зангзании хӯлаи ибтидоии Zn55Al-ро дар муҳитҳои тадқиқшавандаи электролити NaCl ба 50-70 % кам мекунад.



**Расми 4.5** – Қаҷхатаҳои поляризатсионии (2мВ/с) потенциодинамикии анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al (1), ки титан дорад, %-и вазн: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5) дар муҳити электролити 0,03 % (а) ва 3,0 %-и (б) NaCl [6-А, 9-А].

Дар умум, тадқиқоти электрохимиявии гузаронидашудаи хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан ҷавҳаронидашуда имкон медиҳад, ки хӯлаҳои ба зангзанӣ тобоварро барои рӯйпӯшҳо бо миқдори муътадили титан (0,01 – 0,5 %-и вазн) ба даст орем, чунки онҳо нисбатан суръати пасти зангзании анодиро доранд [6-А, 9-А].

Дар ҷадвали 4.7 вобастагии потенциали питтингҳосилкунии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар ду муҳити тадқиқшавандаи электролити NaCl нишон дода шудааст. Потенциали питтингҳосилкунӣ  $E_{n.x.}$  барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al, ки аз 0,01 то 0,5 %-и вазн титан дорад, дар муҳити электролити 0,03%-и NaCl қиматҳои аз -0,480 то -0,440 В дорад, дар муҳити 3,0%-и электролити NaCl бошад, қиматҳои аз -0,626 то -0,560 В-ро дорад.

**Чадвали 4.7** – Вобастагии потенциали питтингҳосилкунии ( $-E_{n,x}$ , В)

хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан аз дараҷаи ғализии

электролити NaCl [6-A, 9-A]

Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl	3,0% NaCl
0,00	0,664	0,810
0,01	0,480	0,626
0,05	0,472	0,600
0,1	0,456	0,580
0,5	0,440	0,560

Ҳангоми чавҳаронидани хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан дар худудҳои 0,01...0,5 %-и вазн, суръат ва зичии ҷараёни зангзанӣ қиматҳои камтаринро доранд (чадвали 4.8).

**Чадвали 4.8** – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан дар муҳити электролити NaCl [6-A, 9-A]

Миқдори титан дар хӯла, %-и вазн	0,03 % NaCl		3,0 % NaCl	
	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, \text{г} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, \text{г} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
0,00	0,030	0,233	0,038	0,296
0,01	0,028	0,218	0,034	0,265
0,05	0,026	0,202	0,033	0,257
0,1	0,024	0,187	0,032	0,249
0,5	0,022	0,171	0,031	0,241

Чӣ тавре аз чадвали 4.8 дида мешавад, хӯлаҳо бо титан чавҳаронидашуда бо қиматҳои пасти суръати зангзанӣ назар ба хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn55Al тавсиф мегарданд. Вобастагии

муқарраргардида бо тағйирёбии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn55Al бо титан чавҳаронидашуда мувофиқат менамояд.

Бо зиёд шудани дараҷаи ғализии хлорид-ион зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn55Al аз 0,030 то 0,038 А/м<sup>2</sup> тағйир меёбад, барои хӯлаи бо иловаи 0,1 %-и вазн титан бошад - 0,024 ва 0,032 А/м<sup>2</sup>, мувофиқан, дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl (ҷадвали 4.8). Аз ҷадвали 4.8 дидан мумкин аст, ки хӯлаҳои бо титан чавҳаронидашуда назар ба хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn55Al суръати зангзании пасттар доранд. Вобастагии муқарраргардида бо тағйирёбии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи бо титан чавҳаронидашуда мувофиқат менамояд.

Дар умум, тадқиқоти электрохимиявии гузаронидашуда нишон медиҳад, ки иловаҳои титан дар 0,01 – 0,5 %-и вазн устувории анодии хӯлаи ибтидоии Zn55Al-ро дар муҳити электролити NaCl (ҷадвали 4.6) баланд мебардорад. Таркиби хӯлаҳои сегонаи коркардашуда метавонанд ба сифати рӯйпӯши зиддзангзанӣ барои муҳофизат аз зангзании маснуот ва иншооти пӯлодӣ истифода бурда шаванд.

#### **4.4. Рафтори анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-A, 7-A]**

Тадқиқоти потенциодинамикии рафтори зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар муҳити электролити NaCl бо дараҷаҳои ғализии 0,03 ва 3,0% бо суръати кушоиши потенциали 2мВ·с<sup>-1</sup> дар потенциостати ПИ-50.1.1 гузаронида шуд.

Дар ҷадвали 4.9 натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии потенциали зангзании озод дар муддати вақт барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий чавҳаронидашуда дар муҳитҳои дар боло зикршудаи NaCl, ки дар давоми як соат ба қайд гирифта шуда буд, пешниҳод карда шудааст.

Новобаста аз таркиби химиявӣ барои ҳамаи гурӯҳи хӯлаҳои тадқиқшаванда ҷойивазшавии потенциалба самти мусбӣ ба қайд гирифта шуд, ки динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидии муҳофизатиро тавсиф менамояд,



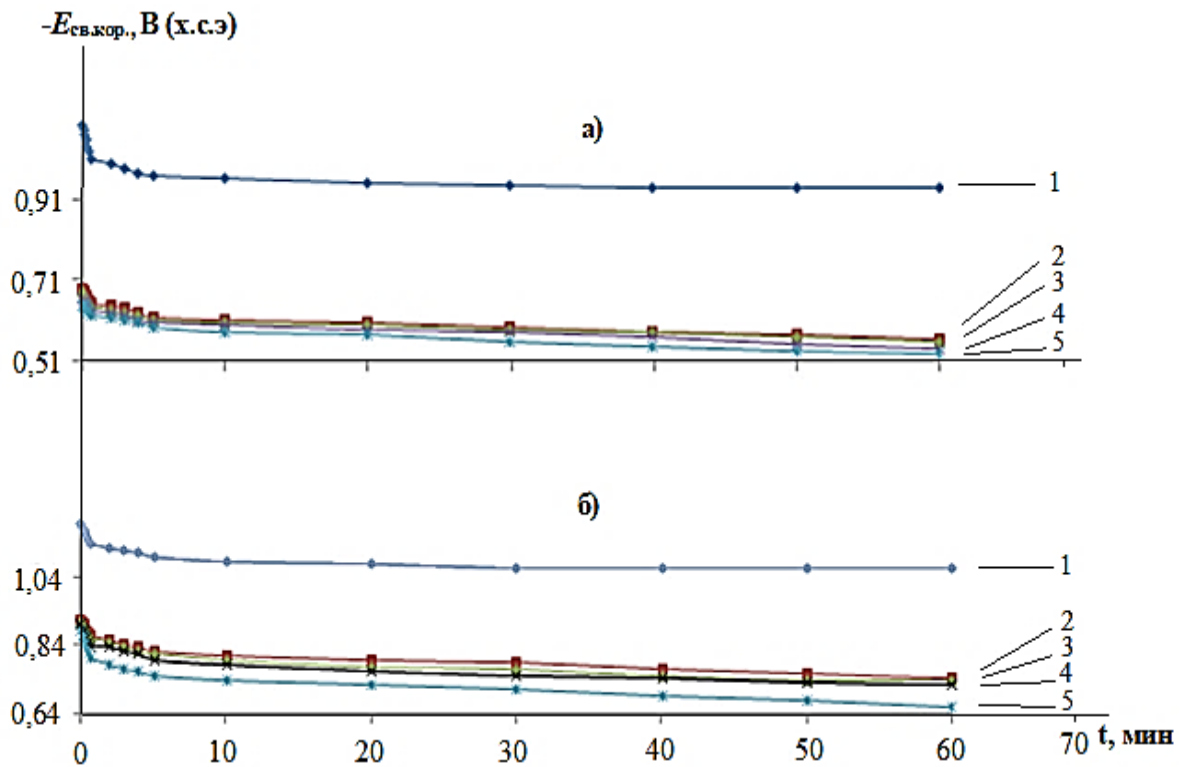
ки дар дақиқаҳои 35-45-ум ба анҷом мерасад ва аз таркиби химиявӣ кам вобастагӣ дорад. Инак, баъд аз як соати нигоҳ доштан дар маҳлули 0,03%-и хлориди натрий потенциали зангзании озоди хӯлаи Zn5Al -1,050В-ро ташкил медиҳад, барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al, ки бо 0,5 %-и вазн сирконий чавҳаронида шудааст, қимати потенциали зангзании озод -0,546В-ро ташкил медиҳад (ҷадвали 4.9).

**Ҷадвали 4.9** – Вобастагии муваққати потенциали (э.х.н.) зангзании озоди ( $-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-А, 7-А]

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	$(-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) ҳангоми нигоҳдорӣ, дақиқа							
		0,3	0,6	2	4	10	20	40	60
0,03	0,00	1,087	1,078	1,073	1,064	1,058	1,055	1,052	1,050
	0,01	0,672	0,657	0,650	0,630	0,614	0,606	0,584	0,584
	0,05	0,667	0,648	0,640	0,624	0,609	0,600	0,582	0,582
	0,1	0,651	0,638	0,632	0,616	0,602	0,590	0,570	0,570
	0,5	0,640	0,627	0,620	0,608	0,584	0,576	0,546	0,546
3,0	0,00	1,153	1,140	1,132	1,116	1,109	1,107	1,104	1,100
	0,01	0,892	0,867	0,857	0,834	0,812	0,797	0,774	0,744
	0,05	0,887	0,862	0,850	0,824	0,796	0,780	0,750	0,740
	0,1	0,872	0,840	0,838	0,816	0,782	0,767	0,744	0,724
	0,5	0,846	0,806	0,786	0,764	0,740	0,728	0,694	0,660

Расми 4.6 динамикаи муқаррар намудани потенциали зангзании озодро дар муддати вақт барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори сирконий дар ду муҳити тадқиқшавандаи электролити NaCl нишон медиҳад ва он дар давоми як соат ба қайд гирифта шуда буд. Потенциали зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al баъд аз як соати нигоҳдорӣ дар маҳлули 3,0%-и хлориди натрий -1,100В-ро ташкил дод, барои хӯлаи бо 0,5%-и вазни

сирконий чавхаронидашуда бошад, ба  $-0,660\text{В}$  баробар аст (ҷадв. 4.9 ва расми 4.6).



**Расми 4.6** – Тағйирёбии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $\text{Zn5Al}$  (1) дар муддати вақт: аз миқдори сирконий (%-и вазн) 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5) дар муҳити электролити 0,03% (а) ва 3,0%-и (б)  $\text{NaCl}$  [6-А, 7-А]

Ҷойивазшавии хурди потенциал ба минтақаи мусбии қиматҳо ҷой дорад. Ғайр аз ин, дидан мумкин аст, ки баъд аз 40 дақиқа раванди ташаккулёбии пардаи оксидии муҳофизатӣ ба анҷом мерасад.

Дар ҷадвали 4.10 натиҷаҳои тадқиқоти зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаи  $\text{Zn5Al}$  бо сирконий, ки суръати кушоиши потенциали  $2 \text{ мВ} \cdot \text{сония}^{-1}$  дорад, бо поляризаторсияи катодии пешакӣ, ки аз рӯйи методикаи дар корҳои [129-136] шарҳодашуда оварда шудаанд. Бо афзоиши миқдори компоненти чавхарӣ потенциали зангзанӣ, пинтингҳосилкунӣ ва репассиватсия то андозае ба минтақаи мусбӣ ҷой иваз менамоянд. Суръати зангзание, ки аз шохаҳои катодии қачхатаҳои потенциодинамикӣ ҳисоб карда шудаанд, нишон

медиханд, ки иловаҳои сирконий дар ҳудудҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн ба 5-10 маротиба суръати зангзании хӯлаи ибтидоии Zn5Al-ро паст мекунад.

Потенсиали зангзании озоди хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий зиёд мешавад, аз дараҷаи ғализии хлорид-ион бошад, кам мешавад (расми 4.6). Чунин тамоюл дар муҳити маҳлули 0,03 ва 3,0 %-и электролити NaCl ҷой дорад (ҷадвали 4.10).

**Ҷадвали 4.10** – Тағсифи электрохимиявии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар муҳити маҳлули электролити NaCl [6-А, 7-А]

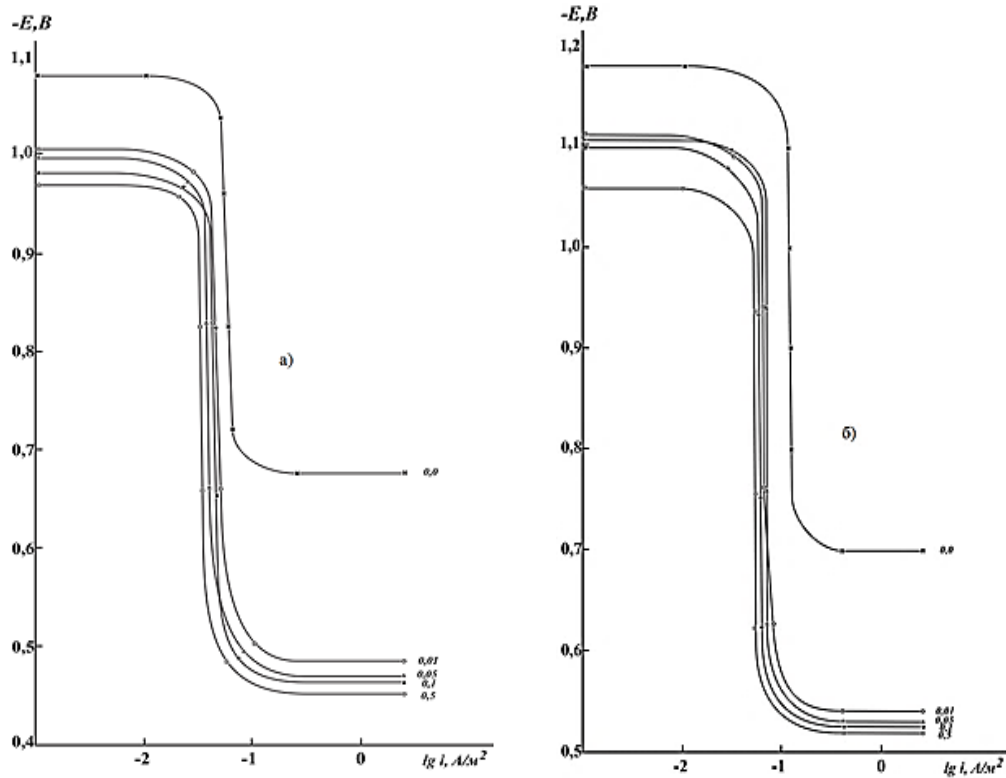
Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори сирконий, %-и вазн	Потенсиалҳои электрохимиявӣ, В (э.х.н.)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{занг.оз.}$	$-E_{занг.}$	$-E_{п.х.}$	$-E_{реп.}$	$i_{кор} \cdot 10^2$ $A \cdot M^{-2}$	$K \cdot 10^3$ $г \cdot M^{-2} \cdot c^{-1}$
0,03	-	0,940	1,080	0,676	0,800	0,101	1,23
	0,01	0,565	1,005	0,485	0,540	0,022	0,26
	0,05	0,560	0,996	0,470	0,530	0,016	0,19
	0,1	0,540	0,980	0,465	0,520	0,012	0,14
	0,5	0,528	0,968	0,455	0,520	0,009	0,10
3,0	-	1,064	1,180	0,700	0,900	0,110	1,34
	0,01	0,744	1,113	0,540	0,710	0,032	0,39
	0,05	0,740	1,110	0,530	0,705	0,027	0,33
	0,1	0,724	1,100	0,525	0,700	0,023	0,28
	0,5	0,660	1,060	0,520	0,690	0,018	0,22

Аз расми 4.6 дида мешавад, ки ҳамаи қачхатаҳо бо иловаи сирконий аз 0,01 то 0,5 %-и вазн дар минтақаи нисбатан мусбии қиматҳои потенциал нисбат ба муқоисаи чунин барои хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ҷойгиранд (расми 4.7, қачхатаи 1). Бояд қайд намуд, ки суръати ҳалшавии хӯлаҳо бо миқдори сирконий аз 0,01 то 0,5 %-и вазн нисбатан пасттар ба ҳисоб меравад (ҷадвали 4.10).

Потенсиалҳои пингтнингҳосилкунӣ ва репассиватсияи хӯлаҳои бо сирконий (0,01-0,5 %-и вазн) ҷавҳаронидашуда дар ду муҳити тадқиқшавандаи электролити NaCl ба минтақаи мусбии қиматҳо ҷой иваз мекунад, ки боз як

маротибаи дигар аз манбаҳои ғайрифаноли питтингии зангзанандаи ҳосилшаванда дар муҳитҳои нейтралӣ гувоҳӣ медиҳанд (ҷадвали 4.10).

Дар расми 4.7 а, б қачхатаҳои потенциодинамикии, ки рафтори анодии ҳӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al-ро бо сирконий тавсиф менамоянд, пешниҳод шудаанд.



**Расми 4.7** – Қачхатаҳои потенциодинамикии анодии поляризатсионии (2мВ/с) ҳӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al (1), ки сирконий дорад, %-и вазн: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5) дар муҳити электролити 0,03 (а) ва 3,0 %-и (б) NaCl [6-А, 7-А]

Дар ҳӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда бо фарқиати ҳӯлаи ибтидоӣ дар қачхатаҳои потенциодинамикӣ минтақаи ҳолати фаноли-ғайрифаноли ба тарафи қиматҳои мусбии потенциал ҷой иваз кардааст ва бо зиёд шудани миқдори элементи ҷавҳарӣ-сирконий камшавии зичии ҷараён мушоҳида карда мешавад. Қачхатаҳои анодии ҳӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда ҷаптари қачхатаҳои ҳӯлаи ибтидоӣ ҷойгир мешаванд, ки аз пастшавии суръати зангзании ҳӯлаҳои мазкур гувоҳӣ медиҳанд (расми 4.7, а, б).

Дар ҷадвали 4.11 вобастагии потенциали питтингҳосилкунии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар муҳитҳои электролити NaCl оварда шудаанд. Потенсиали питтингҳосилкунии  $E_{п.х.}$  барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al, ки миқдорҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн сирконий доранд, дар муҳити электролити 0,03 %-и NaCl қиматҳоро дар фосилаҳои аз -0,485В то -0,455В дорад, дар муҳити 3,0 %-и электролити NaCl бошад, қиматҳо дар фосилаҳои аз -0,540В то -0,520В дорад.

**Ҷадвали 4.11** – Вобастагии потенциали питтингҳосилкунии ( $-E_{п.х.}$ , В) хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий аз дараҷаи ғализии электролити NaCl [6-А, 7-А]

Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl	3,0% NaCl
0,00	0,676	0,700
0,01	0,485	0,540
0,05	0,470	0,530
0,1	0,465	0,525
0,5	0,455	0,520

Суръат ва зичии ҷараёни зангзанӣ ҳангми ҷавҳаронидани хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al бо сирконий дар ҳудудҳои 0,01...0,5 %-и вазн қимати камтарин дорад (ҷадвали 4.12).

**Ҷадвали 4.12** – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-А, 7-А]

Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	0,03 % NaCl		3,0 % NaCl	
	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, г \cdot m^2 \cdot c^{-1}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, г \cdot m^2 \cdot c^{-1}$
0,00	0,101	1,23	0,110	1,34
0,01	0,022	0,26	0,032	0,39
0,05	0,016	0,19	0,027	0,33
0,1	0,012	0,14	0,023	0,28
0,5	0,009	0,10	0,018	0,22

Ҳамин тариқ, хӯлаҳои, ки бо сирконий ҷавҳаронида шудаанд, нисбатан бо қиматҳои камтарини суръати зангзанӣ тавсиф меёбанд, назар ба хӯлаи

ибтидоии рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  (ба 5-10 маротиба камтар), ки имкони ба даст овардани рӯйпӯшҳои ба зангзанӣ тобоварро бо миқдори муътадили сирконий аз 0,01 то 0,5 %-и вазн фароҳам меоварад. Пас, таркибҳои хӯлаҳои нишондодашударо мумкин аст, ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатии конструксияҳо ва иншооти пӯлодӣ, ки дар муҳитҳои нейтралӣ кор мекунад, тавсия дода шаванд.

#### **4.5. Рафтори анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи $Zn55Al$ бо сирконий дар муҳити электролити $NaCl$ [6-А, 7-А]**

Дар солҳои охир ҳавасмандӣ нисбат ба ба вучуд овардан ва тадқиқ кардани муътақидан масолеҳи конструксионии нав, ки хосиятҳои баланди механикӣ ва садофурӯбарандагиро доро мебошанд, дар муқоиса бо масолеҳи анъанавӣ меафзояд. Бинобар ҳамин коркард ва тадқиқоти хӯлаҳои нави рӯхӣ-алюминӣ бо компонентҳои чавҳарии гуногун, ки ба муҳитҳои агрессивӣ истодагарӣ доранд ва ба пароканда кардани энергияи лаппишҳо қобилият доранд, бағоят мубрам ба ҳисоб мераванд [138].

Бинобар ин дар боби мазкури рисола натиҷаҳои тадқиқоти рафтори анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55Al$  бо сирконий чавҳаронидашуда бо мақсади коркарди рӯйпӯшҳои хӯлагӣ барои муҳофизати конструксияҳо ва иншооти пӯлодӣ аз зангзанӣ дида баромада шудаанд.

Тадқиқоти потенциодинамикии рафтори анодии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55Al$  бо сирконий чавҳаронидашуда дар муҳитҳои маҳлули электролити  $NaCl$  бо дараҷаҳои ғализии 0,03 ва 3,0% бо суръати кушоиши потенциали  $2 \text{ мВ} \cdot \text{с}^{-1}$  гузаронида шудааст. Натиҷаҳои тадқиқот дар расмҳои 4.8 - 4.9 тасвир ёфта ва дар ҷадвалҳои 4.13 - 4.14 оварда шудаанд.

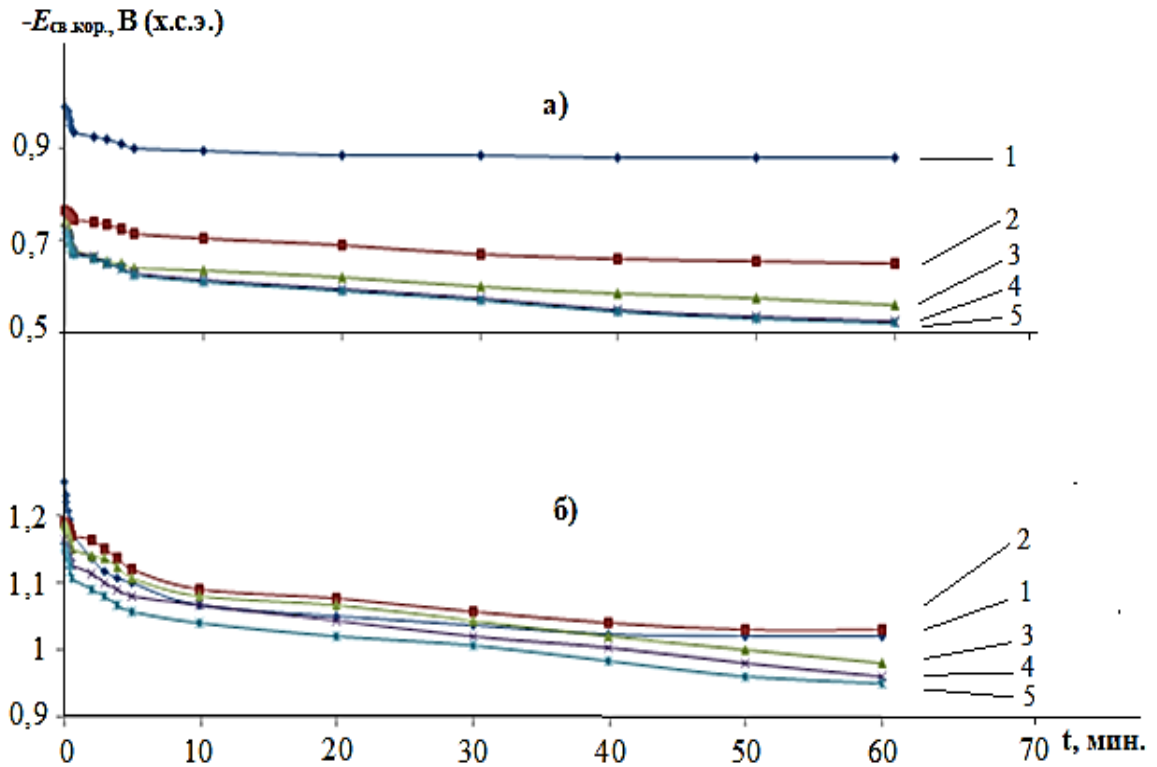
Дар ҷадвали 4.13 натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии потенциали зангзании озод дар мудати вақт барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55Al$  бо сирконий чавҳаронидашуда дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0 %-и  $NaCl$  пешниҳод гардидаанд, ки дар муддати як соат ба қайд гирифта шуда буд [6-А, 9-А].

**Чадвали 4.13** – Вобастагии муваққати потенциали (э.х.н.) зангзании озоди ( $-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-А, 7-А]

Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	$(-E_{\text{занг.оз.}}$ , В) ҳангоми нигоҳдорӣ, дақиқа							
		0,3	0,6	2	4	10	20	40	60
0,03	0,00	0,990	0,988	0,985	0,979	0,975	0,974	0,972	0,970
	0,01	0,754	0,744	0,740	0,726	0,702	0,688	0,660	0,650
	0,05	0,712	0,678	0,666	0,647	0,632	0,618	0,584	0,560
	0,1	0,702	0,672	0,662	0,639	0,614	0,595	0,546	0,525
	0,5	0,692	0,668	0,660	0,636	0,610	0,590	0,544	0,520
3,0	0,00	1,038	1,032	1,029	1,026	1,024	1,023	1,021	1,020
	0,01	1,185	1,170	1,165	1,138	1,090	1,076	1,040	1,030
	0,05	1,174	1,152	1,142	1,124	1,080	1,066	1,020	0,980
	0,1	1,147	1,126	1,114	1,090	1,067	1,045	1,004	0,960
	0,5	1,135	1,108	1,092	1,067	1,040	1,021	0,984	0,950

Барои ҳамаи хӯлаҳои тадқиқшаванда ҷойивазкунии потенциал ба минтақаи мусбӣ ба қайд гирифта шудааст, ки бо динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидии муҳофизатие, ки дар дақиқаҳои 35-40-ум ба анҷом мерасад, фаҳмонида мешавад. Инак, баъд аз як соати нигоҳдорӣ дар маҳлули 0,03%-и хлориди натрий потенциали зангзании озоди хӯлаи ибтидоии Zn55Al ба -0,970 В барои хӯлаи бо миқдори 0,1 %-и вазн сирконий ҷавҳаронидашуда бошад, -0,525В-ро ташкил медиҳад (ҷадвали 4.13). Потенциали зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al баъд аз як соати нигоҳдорӣ дар маҳлули 3,0 %-и хлориди натрий -1,020 В-ро ташкил медиҳад, барои хӯлаи бо 0,1 %-и сирконийдошта бошад, -0,960 В-ро ташкил медиҳад (ҷадвали 4.13). Агар  $E_{\text{занг.оз.}}$ -ро барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи бо сирконий ҷавҳаронидашуда муқоиса намоем, қайд кардан мумкин аст, ки нисбатан қимати мусбии потенциал ба хӯлаи Zn55Al дар маҳлули 0,03%-и хлориди натрий ва нисбатан қимати манфии потенциал ба хӯлаи Zn55Al дар маҳлули 3,0 %-и хлориди натрий дахл дорад (ҷадвали 4.13) [6-А, 7-А].

Дар расми 4.8 тағйирёбии потенциали зангзании озоди (э.х.н.) хўлаи рўхй-алюминийи Zn55Al бо сирконий, дар муддати вақт дар муҳити электролити 0,03% ва 3,0 %-и (б) NaCl пешниҳод карда шудааст.



**Расми 4.8** – Тағйирёбии потенциали (э.х.н.) зангзании озоди хўлаи рўхй-алюминийи Zn55Al (1) дар муддати вақт бо сирконий, %-и вазн: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5), дар муҳити электролити 0,03% (а) ва 3,0%-и (б) NaCl

Омӯзиши рафтори зангзанӣ-электрохимиявии хўлаи рўхй-алюминийи Zn55Al бо сирконий чавҳаронидашуда (0,01... 0,5 %-и вазн) дар чадвали 4.14 чамъ оварда шудаанд. Дида мешавад, ки чавҳаронидани хўлаи рўхй-алюминийи Zn55Al бо сирконий потенциалҳои электродиро ба минтақаи мусбӣ мекӯҷонад. Ин бо динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидии муҳофизатӣ баён мегардад, ки дар дақиқаҳои 50-ум ба анҷом мерасад (чадвали 4.14 ва расми 4.8) [6-А, 7-А].



**Чадвали 4.14** – Тавсифҳои электрохимиявии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий, дар муҳити маҳлули электролити NaCl [6-А, 7-А]

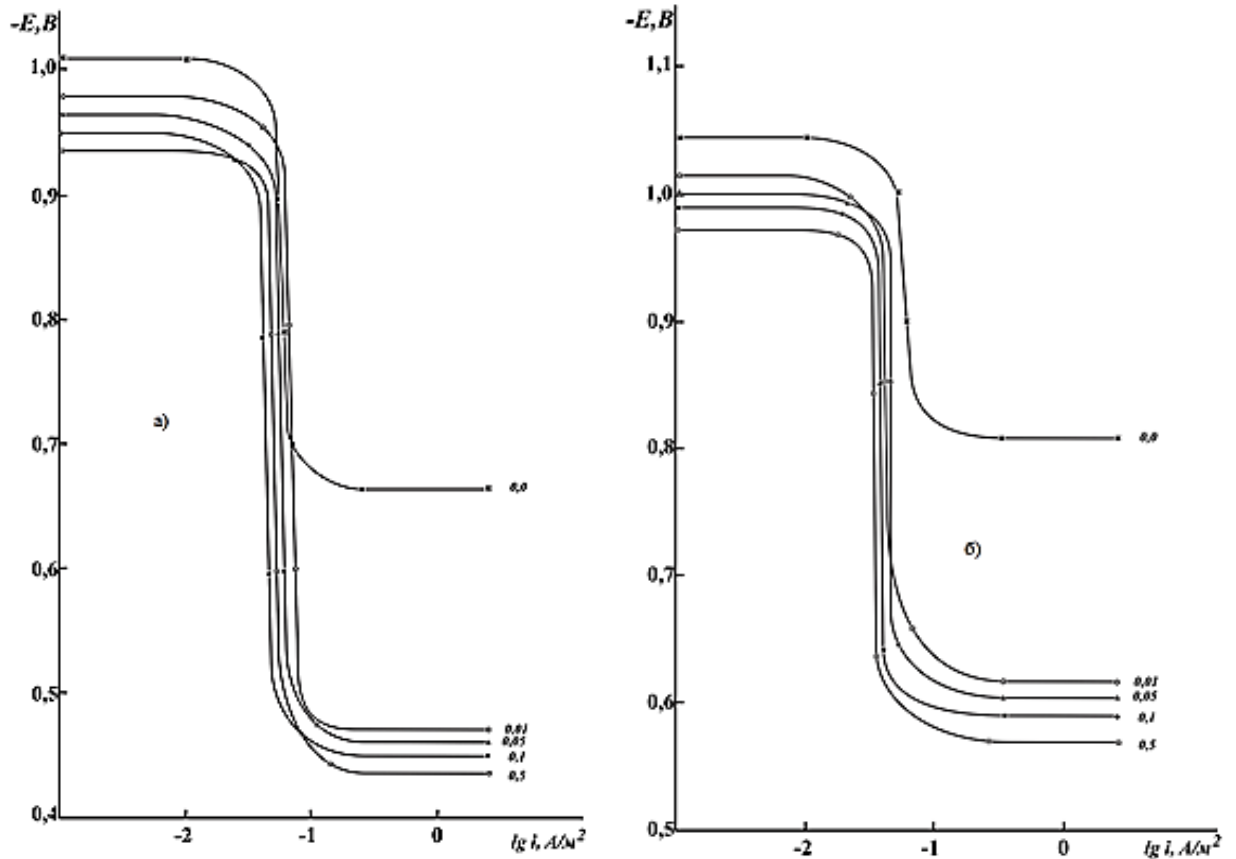
Муҳити NaCl, %-и вазн	Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (э.х.н.)				Суръати зангзанӣ	
		$-E_{занг.оз.}$	$-E_{занг.}$	$-E_{п.х.}$	$-E_{реп.}$	$i_{занг.} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, \Gamma \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}$
0,03	-	0,880	1,010	0,664	0,860	0,030	0,233
	0,01	0,570	0,980	0,470	0,530	0,024	0,187
	0,05	0,560	0,965	0,460	0,515	0,022	0,171
	0,1	0,525	0,950	0,450	0,500	0,020	0,156
	0,5	0,520	0,936	0,435	0,500	0,018	0,140
3,0	-	1,022	1,044	0,810	0,924	0,038	0,296
	0,01	1,010	1,014	0,618	0,900	0,032	0,249
	0,05	0,980	1,000	0,605	0,890	0,029	0,226
	0,1	0,960	0,990	0,590	0,880	0,026	0,202
	0,5	0,950	0,976	0,570	0,880	0,025	0,195

Бо зиёд шудани миқдори компоненти чавҳарӣ потенциалҳои зангзанӣ пинтингҳосилкунӣ ва репассиватсия ба минтақаи нисбатан мусбӣ қой иваз мекунад. Суръати зангзание, ки аз шохаҳои катодии қачхатаҳои потенциодинамикӣ ҳисоб карда шудаанд, нишон медиҳанд, ки иловаҳои сирконий дар ҳудудҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн ба 30% суръати зангзании хӯлаи ибтидоии Zn55Al-ро кам мекунад (чадвали 4.14).

Чӣ тавре аз расми 4.9 дида мешавад қачхатаҳои анодии 2...5 барои хӯлаи Zn55Al бо миқдори сирконий аз 0,01 то 0,5 %-и вазн чаптар аз қачхатаҳои барои хӯлаи ибтидоӣ қойгир мебошанд, ки аз нисбатан суръати пасти анодии зангзании хӯлаҳои нишондодашуда гувоҳӣ медиҳад.

Вобастагии потенциали пинтингҳосилкунии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий дар ду муҳити тадқиқшавандаи электролити NaCl дар чадвали 4.15 пешниҳод гардидааст. Потенциали пинтингҳосилкунӣ  $E_{п.х.}$  барои хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al, ки миқдорҳои гуногуни сирконий дорад, дар муҳити маҳлули электролити 0,03 %-и NaCl қиматҳоро дар ҳудудҳои аз -

0,470 В то -0,435 В дорад, дар муҳити 3,0%-и электролити NaCl бошад киматҳои аз -0,618В то -0,570В дорад мебошад [6-А, 7-А].



**Расми 4.9** – Қаҷхатаҳои потенциодинамикии анодии поляризационии (2мВ/с) хӯлаи Zn55Al (1), ки сирконий дорад, %-и вазн: 0,01 (2), 0,05 (3), 0,1 (4), 0,5 (5) дар муҳити электролити 0,03 (а) ва 3,0 %-и (б) NaCl [6-А, 7-А]

**Ҷадвали 4.15** – Вобастагии потенциали питтингҳосилкунии ( $-E_{n.x.}$ , В) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий аз дараҷаи ғализии электролити NaCl [6-А, 7-А]

Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl	3,0% NaCl
0,00	0,664	0,810
0,01	0,470	0,618
0,05	0,460	0,605
0,1	0,450	0,590
0,5	0,435	0,570

Суръат ва зичии ҷараёни зангзанӣ ҳангоми ҷавҳаронидани хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий дар ҳудудҳои 0,01...0,5 %-и вазн қимати камтарин дорад (ҷадвали 4.16).

**Ҷадвали 4.16** – Вобастагии суръати зангзании хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-A, 7-A]

Миқдори сирконий дар хӯла, %-и вазн	0,03% NaCl		3,0% NaCl	
	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, г \cdot m^2 \cdot c^{-1}$	$i_{занг} \cdot 10^2, A \cdot m^{-2}$	$K \cdot 10^3, г \cdot m^2 \cdot c^{-1}$
0,00	0,030	0,233	0,038	0,296
0,01	0,024	0,187	0,032	0,249
0,05	0,022	0,171	0,029	0,226
0,1	0,020	0,156	0,026	0,202
0,5	0,018	0,140	0,025	0,195

Маълум аст, ки хӯлаҳо бо сирконий бо нисбатан қиматҳои пастарини суръати зангзанӣ назар ба хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминий тавсиф меёбанд.

Зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al 0,030 ва 0,038 A/m<sup>2</sup>-ро ташкил медиҳад, барои хӯла бо иловаи 0,1 %-и вазн сирконий бошад -0,020 ва 0,026 A/m<sup>2</sup>, мувофиқан дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl (ҷадвали 4.16). Чӣ тавре дида мешавад, хӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда суръати зангзании камтаринро назар ба хӯлаи ибтидоӣ доранд.

Дар умум, ҷавҳаронидани хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий дар ҳудудҳои 0,01...0,5 %-и вазн ба пастшавии суръати зангзании он ба 30% мусоидат менамояд. Таъсири мусбии сирконийро ба саҳтӣ ва устувории хӯлаҳо ба ҳисоб гирифта, таркибҳои зикршударо мебоист ба сифати

рӯйпӯшҳои зидди зангзани барои муҳофизат аз зангзании маснуот ва иншооти пӯлоди тавсия намуд [6-А, 7-А].

#### Хулосаҳо ба боби IV

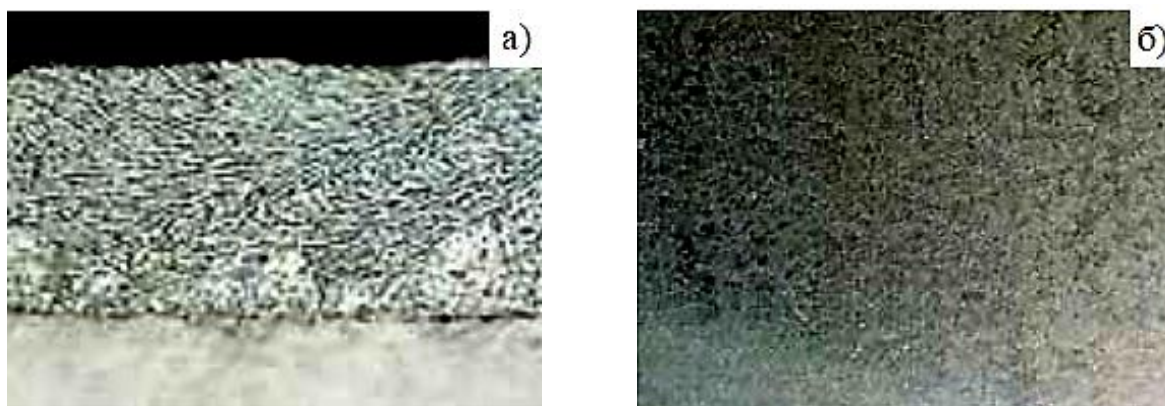
Чӣ тавре маълум аст, аз ҳама бештар намуди зангзании рӯх, алюминий ва хӯлаҳо дар асоси онҳо зангзании питтингӣ ба шумор меравад, ки хлорид-ионҳои муҳити атрофро ба вучуд меоварад. Ана бо ҳамин сабаб интихоби маҳлули NaCl ҳамчун муҳити зангзананда барои тадқиқоти электрохимиявӣ ва зангзанандагӣ фаҳмонида мешавад.

Ҳангоми ҷавҳаронидани хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al бо элементҳои гуногун гуногунтаркибии электрохимиявӣ меафзояд ва устуворӣ ба зангзании он бо табиат ва миқдори элементҳои ҷавҳарӣ муайян карда мешавад. Системаи ҷорӣ коркарди хӯлаҳои анодӣ бо усулҳои санҷиш ва ҳатогиҳо қаноат намекунонад, баръакс зарурати ба тартиб даровардани принципҳои синтези хӯлаҳо, асоснок кардани интихоби элементҳои ҷавҳарӣ ва комплексҳои онҳоро талаб менамояд.

Ҳамин тавр, ҳангоми баҳо додани таъсири элементҳои ҷавҳарӣ ба хосиятҳои хӯлаҳо, тавсифи асосӣ ҳудуди ҳалшавии элементҳои ҷавҳарӣ ба алюминий ва рӯх ҳангоми ҳарорати эвтектика ё перитектика ва коэффитсиенти тақсимшавӣ ба ҳисоб мераванд, ки бо таносуби ҳалшавии элементҳои ҷавҳарӣ дар фазаҳои моеъ ва сахти асоси хӯла ифода гардидааст ва дараҷаи гуногунтаркибӣ ва тақсимшавии элементҳои ҷавҳариро дар таркиби хӯла нишон медиҳад. Элементи ҷавҳарии хӯла метавонад ё ки дар нақши модификатор ё ин ки дар таркиби асоси хӯла нақши асосиро бозад [139].

Соҳти таркибии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи Zn5Al (Галфан I) аз қабатҳои тунуки навбатии рӯх ва алюминий бо қабатҳои фавқулода тунуки (10-20 нм) мобайнии FeAl<sub>3</sub> мобайни онҳо иборат мебошад (расми 4.10, а). Галфан II сатҳи ҳамвори инъикоскунандаро бо андак минтақаҳои намоёни шакли шашрӯя дорад (расми 4.10, б). Пардаи дар натиҷаи зангзании пайвастагиҳо ба вучуд омадаистода, ки дар сатҳи рӯйпӯши рӯхӣ-алюминий дар ҳавои бахрӣ

пайдо мегардад (расми 4.11 аз рост), назар ба пардаи шабоҳатдошта дар рӯйпӯши оддии рӯҳӣ (расми 4.11 аз чап) ниҳоят устувор мебошад.



**Расми 4.10** – Сохти таркибии ( $x = 100$ ) Галфан I (а), ки аз қабатҳои тунуки навбатии рӯҳ ва алюминий иборат аст ва Галфан II (б), ки сатҳи ҳамвори инъикоскунанда дорад.

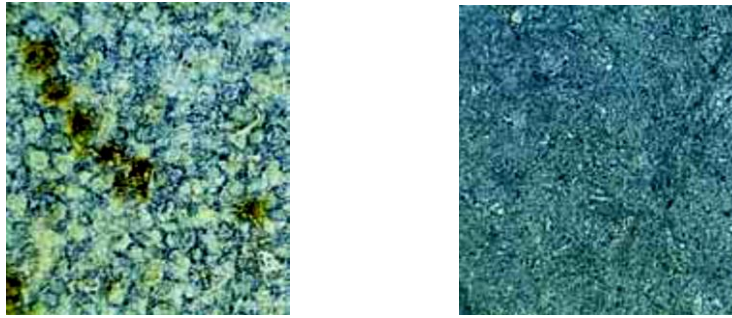
Бо гузашти вақт парда дар сатҳи Галфан бо алюминий мукамал мегардад, ки шиддатнокии зангзаниро суст менамояд.

Шиддатнокии зангзани рӯйпӯш аз рӯҳ ва алюминий бо гузашти вақт паст мегардад, бо назардошти он ки чӣ гуна сатҳи он бо нисбатан пайвастагиҳои устувори алюминий мукамал мегардад ва дар натиҷаи зангзанӣ ба вучуд меояд.

Пардаи тунуки чунин пайвастагиҳо дар рӯйпӯши рӯҳӣ-алюминӣ нисбатан сохти таркибии хурд дорад, нисбатан устувор мебошад, назар ба рӯйпӯши рӯҳии оддӣ ба сатҳ устувор мечаспад (расми 4.10). Бо шарофати ҳамин рӯйпӯшҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  камаш ду баробар устуворӣ ба зангзаниро дороанд [6-А, 7-А].

Интихоби титан ва сирконий ба сифати компоненти ҷавҳари хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо таъсири мусбии онҳо ба хосиятҳои физикӣ-механикии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  фаҳмонида мешавад. Аз тарафи муаллифони [5-А, 18-А] зиёдшавии хеле калони сахтӣ ва мустаҳкамӣ ҳисобӣ ҳангоми бо титан ва сирконий ҷавҳаронидани хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  нишон дода шудааст. Иловаҳои титан ва сирконий ба сохти таркибии хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва

Zn55Al таъсири тағйирдиҳандагӣ расонида, андозаҳои доначаҳо, дохилшавандаҳои фазаҳои маҳлулҳои саҳти рӯхро дар алюминий ( $\alpha$ -Al) ва алюминийро дар рӯх ( $\gamma$ -Zn) хурд мекунанд (расмҳои 4.12, 4.13). Бо зиёд шудани миқдори титан ва сирконий инчунин курашакл гардидани дохилшавандаҳои фазаҳои нишондодашуда ба қайд гирифта мешавад [5-А, 18-А]

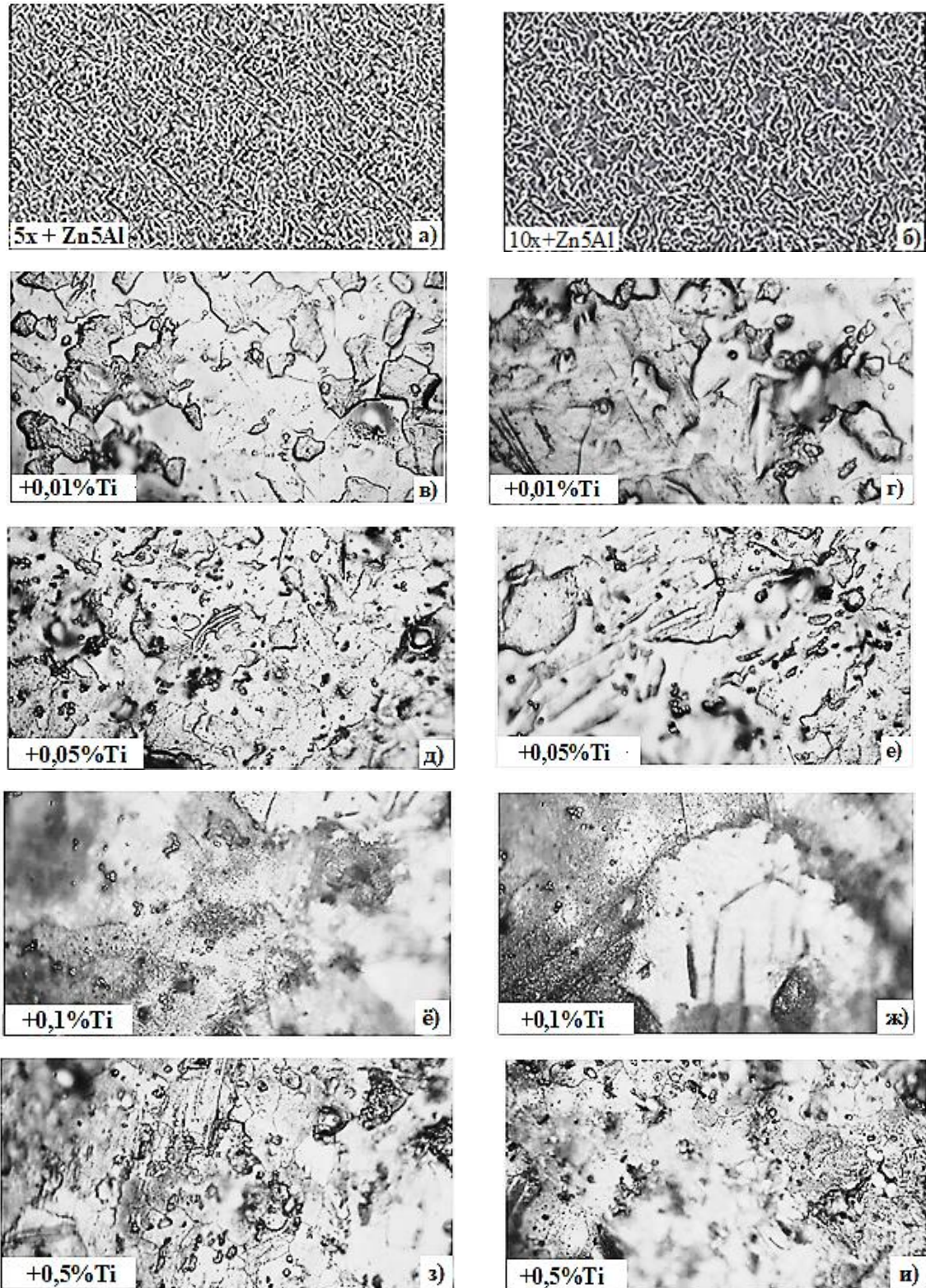


**Расми 4.11.** – Пардаи дар натиҷаи зангзании пайвастагиҳо ташаккулёбанда, ки дар сатҳи рӯйпӯши рӯхӣ-алюминӣ дар ҳавои баҳрӣ (аз рост) ба вучуд меояд ва пардаи шабех дар сатҳи рӯйпӯши рӯҳии оддӣ (аз чап).

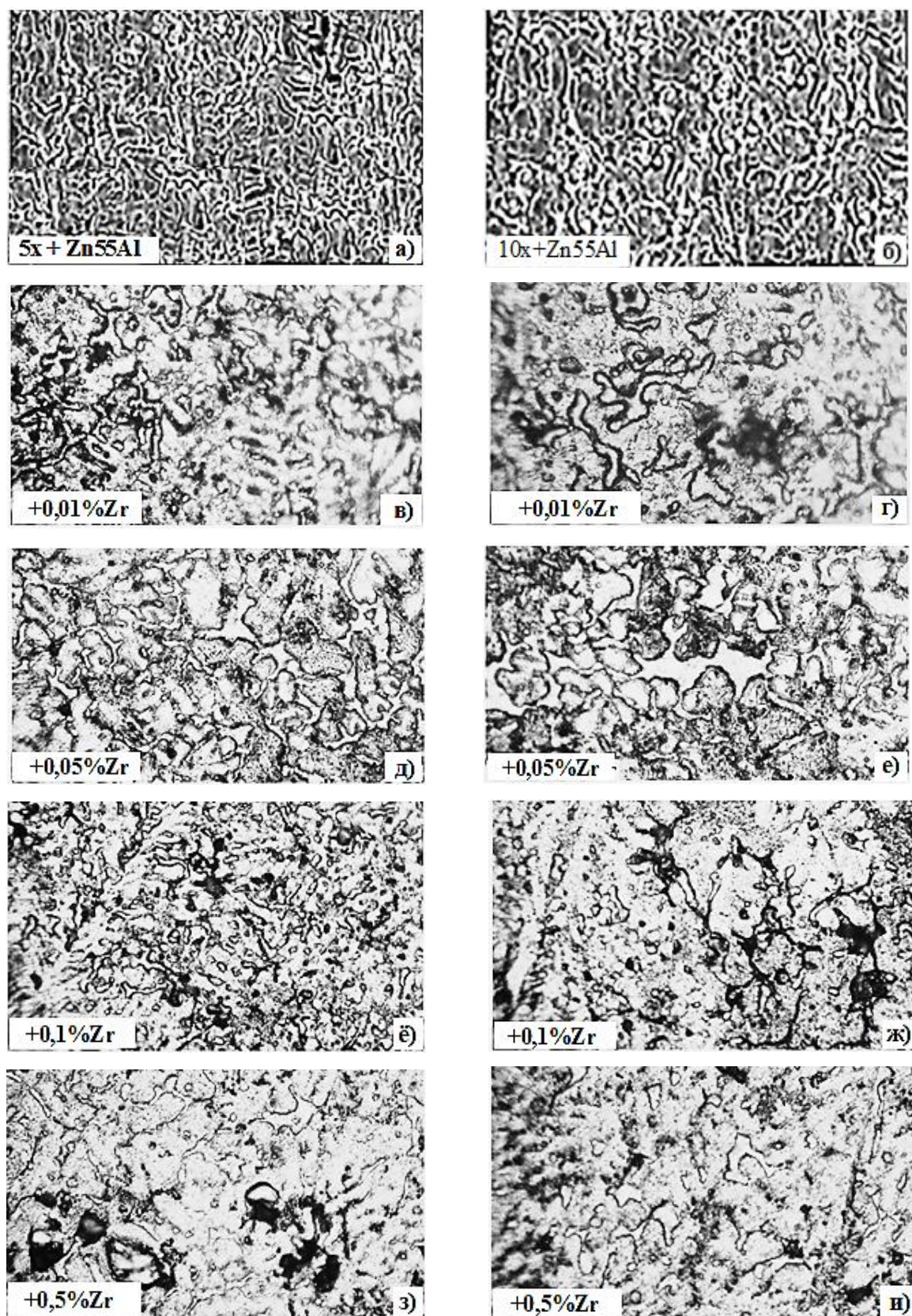
Дар расмҳои 4.12 ва 4.13 ҳамчун мисол соҳти таркибҳои хӯлаҳо (50 маротиба ва 100 маротиба), ки дар микроскопи рӯшноигии монокулярӣ тамғаи БИОМЕД-1 (Украина) ба қайд гирифта шудаанд, пешниҳод гардидаанд.

Рафтори зангзании хӯлаҳо бо таркиби фазавӣ ва химиявии онҳо муайян карда мешавад. Таркиби фазавӣ, дар навбати худ аз ташкилёбии соҳти таркибӣ, аниқтараш аз таъсири мутақобили компонентҳои хӯла (эвтектика, пайвастагии интерметаллӣ, маҳлули саҳт ва ғ.) вобаста мебошад [5-А, 18-А]. Иловаҳои хурди титан ва сирконий нақши тағйирдеҳи таркибиро иҷро карда, таркиби хӯлаҳои ибтидоии рӯхӣ-алюминӣ Zn5Al ва Zn55Al-ро майдадона ва хеле курашакл менамоянд (расми 4.12 *в, з, д, е*; расми 4.13 *в, з, д, е*), ки ба беҳтаршавии устуворӣ ба зангзании онҳо оварда мерасонад. Иловаҳои калони титан (0,1-0,5 %-и вазн) номатлуб ба ҳисоб мераванд, чунки соҳти таркибии хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминӣ Zn5Al-ро шахшӯл (дағал) карда,

инчунин дар ин ҳол аз гудохта фазаи интерметаллии таркиби номаълум ба намуди таркиб сӯзаншакл булӯр (расми 4.12, *ё, ж, з, и*) аст [5-А, 18-А].



**Расми 4.12** – Сохти таркибии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al бо титан ҳангоми калонкунии 50 карата (*а, в, д, ё, з*) ва 100 карата (*б, г, е, ж, и*). миқдори титани хӯла (%-вазн) дар расмҳо нишон дода шудааст [5-А, 18-А].



**Расми 4.13** – Соҳти таркибии хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al бо сирконий хангоми калонкунии 50 карата (*а, в, д, ё, з*) ва 100 карата (*б, г, е, ж, и*).

Микдори сирконийи хӯла (%-и вазн) дар расмҳо нишон дода шудааст [5-А, 18-А]



Муқоисакунии хӯлаҳои  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ -и бо титан ва сирконий коркардашуда нишон медиҳанд, ки хӯлаҳо бо сирконий назар ба хӯлаҳо бо титан нисбатан бо сохти таркибии майдадона тавсиф мегарданд (расми 4.12) [3-А, 6-А, 9-А, 11-А].

Мавқеи асосӣ дар маҷмӯи чорабиниҳо оид ба таъмини пай дар пай истифодабарии таҷҳизот ба муҳофизати боэътимоди он аз зангзанӣ ва истифодабарӣ аз ҳамин ҷиҳат ба масолеҳи баландсифати аз нуқтаи назари химиявӣ устувор нигаронида мешавад. Бинобар ҳамин мавзӯи мазкур дар ҷаҳони муосири рӯ ба тараққӣ бағоят мубрам ҳисобида мешавад.

Зангзании металлҳо ҳамчун раванди худ ба худ вайроншавии металлҳо ҳангоми таъсири мутақобили химиявӣ, электрохимиявӣ ё биохимиявӣ онҳо бо муҳити атроф муайян карда мешавад. Зангзанӣ худ раванди номатлуб ва беихтиёронро ифода менамояд.

Ҳангоми ноилшавӣ ба потенциали сӯрохкунии ҳолати пасиви минбаъда дар нуқтаҳои алоҳида гирифташуда аз рӯйи механизми зангзании питтингии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  зангзанӣ вайрон мегардад ва ба намуди автокаталикӣ дар гашти тағйирёбӣ дар қуллаи питтинг нигоҳ дошта мешавад [3-А, 6-А, 9-А, 11-А].

Дар чунин робита хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ ба зангзании питтингӣ амалан ҳассосии баробар доранд, чунки дар муҳитҳои комилан мутобиқ потенциали сӯрохкунии онҳо аз якдигар кам фарқ мекунанд. Афзоиши питтингҳо барои алюминий ва рӯҳи тозагиаш баланд асосан дар вобастагии пурра аз ҳамвориҳои кристаллографӣ ва нигарондашудаи онҳо рӯй медиҳад [137].

Сустшавии суръати зангзании питтингӣ аз вақт вобаста мебошад. Ин бо ташаккулёбии маҳсули дуҷумдараҷаи камҳалшаванда дар натиҷаи зангзанӣ сабаб мегардад, ки ба таъсири мутақобили минтақаҳои метал бо муҳити агрессивӣ, ки дар он ба зангзанӣ дучор мешаванд, монеъ мегардад [138].

Ба питтингустувории хӯлаҳо таркиби химиявӣ нисбатан таъсири қатъӣ мерасонад, ки бо натиҷаҳои тадқиқоти гузаронидашудаи мо ҳангоми муқоисаи

хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий бо титан ва сирконий чавҳаронидашудаи Zn5Al ва Zn55Al тасдиқ карда шудааст. Ҳангоми бо титан ва сирконий чавҳаронидани хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий афзоиши потенциалҳои ҳамсарҳади зангзании питтингӣ ба қайд гирифта мешавад. Инчунин ба питтингустувории хӯлаҳо нисбатан таъсири баланд чавҳаронидан бо титан ва сирконий дар ҳудудҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн мерасонад [3-А, 5-А, 6-А, 9-А, 11-А].

Таъсири титан ва сирконий ба зангзанӣ устувории хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al аз тарафи мо дар муҳитҳои 0,03 ва 3,0%-и электролити NaCl тадқиқ карда шудааст. Натиҷаҳои тадқиқоти вобастагии суръати зангзании хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминий аз миқдорҳои титан ва сирконий дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и NaCl дар қадвалҳои 4.17 ва 4.18 пешниҳод карда шудаанд [3-А, 5-А, 6-А, 9-А, 11-А].

**Қадвали 4.17** – Вобастагии муқоисавии суръати зангзании ( $K \cdot 10^{-3} \text{ г/м}^2 \cdot \text{с}$ ) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn5Al аз миқдори титан ва сирконий дар муҳити электролити NaCl [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А]

Хӯла ва компоненти чавҳарии он	0,03% NaCl					3,0% NaCl				
	Миқдори илова дар хӯла, %-и вазн									
	–	0,01	0,05	0,1	0,5	–	0,01	0,05	0,1	0,5
Zn5Al	1,23	–	–	–	–	1,34	–	–	–	–
Ti		0,34	0,30	0,25	0,20		0,47	0,41	0,36	0,31
Zr		0,26	0,19	0,14	0,10		0,39	0,33	0,28	0,22

**Таблица 4.18** – Вобастагии муқоисавии суръати зангзании ( $K \cdot 10^{-3} \text{ г/м}^2 \cdot \text{с}$ ) хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи Zn55Al аз миқдори титан ва сирконий дар муҳити электролити NaCl [6-А, 7-А, 9-А]

Хӯла ва компонент и чавҳарии он	0,03% NaCl					3,0% NaCl				
	Миқдори илова дар хӯла, %-и вазн									
	–	0,01	0,05	0,1	0,5	–	0,01	0,05	0,1	0,5
Zn55Al	0,233	–	–	–	–	0,296	–	–	–	–
Ti		0,218	0,202	0,187	0,171		0,265	0,257	0,249	0,241
Zr		0,187	0,171	0,156	0,140		0,249	0,226	0,202	0,195

Дидан мумкин аст, ки барои хӯлаҳои ибтидоии рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  ҳангоми зиёд шудани миқдори титан ва сирконий суръати зангзанӣ паст мешавад, суръати зангзании электрохимиявии хӯлаҳои ибтидоӣ ва хӯлаҳои бо титан ва сирконий ҷавҳаронидашуда бошад, бо зиёд шудани дараҷаи ғализии хлорид-ион дар электролити  $NaCl$  меафзояд [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А].

Аз рӯйи таҳлил ва муқоисаи натиҷаҳои тадқиқоти потенциостатикӣ рафтори анодии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий, ки дар муҳити электролити 0,03 ва 3,0%-и ( $pH=7$ )  $NaCl$  дар потенциостати ПИ-50.1.1 дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати кушоиши потенциали 2 мВ/с гузаронида шудаанд, чунин қонуниятҳо нишон дода шудаанд:

– вобастагҳои дар муддати вақти потенциали зангзании озоди хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ бо титан ва сирконий дар ду муҳитҳои омӯхташудаи электролити  $NaCl$ -и дар давоми як соат бақайдгирифташуда гувоҳӣ медиҳанд, ки барои ҳамаи гурӯҳи хӯлаҳои омӯхташуда ҷойивазкунии потенциалҳо ба минтақаи мусбӣ ба қайд гирифта шудаанд. Ҷойивазкунии нишон додашуда динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидиро мефаҳмонад, ки дар 40-50-ум дақиқаҳо аз ибтидои раванд ба анҷом мерасад ва аз таркиби химиявии хӯлаҳо кам вобастагӣ дорад (ҷадвалҳои 4.2, 4.6, 4.10, 4.14 ва расмҳои 4.2, 4.4, 4.6, 4.8);

– тавсифҳои асосии зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаҳои  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий гувоҳи онанд, ки иловаҳои титан ва сирконий дар миқдори нозим ( $0,01...0,5$  %-и вазн) потенциалҳои зангзании озод пitting-хосилкунии хӯлаҳоро ба минтақаи қиматҳои мусбӣ мекӯчонанд. Ҳангоми ҷавҳаронидан дар ҳудудҳои  $0,01...0,5$  %-и вазн бо титан ва сирконий суръати зангзании хӯлаҳои ибтидоии  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  ба 4-5 маротиба барои титан ва 5-10 маротиба барои сирконий дар муҳити тадқиқшудаи электролити  $NaCl$  кам мешавад (ҷадвалҳои 4.2, 4.6, 4.10, 4.14) [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А];

– аз қачхатаҳои анодии потенциодинамикии поляризатсионии дар расмҳои 4.3, 4.5, 4.7, 4.9 пешниҳодгашта ва натиҷаҳои тадқиқоти дар ҷадвалҳои 4.2, 4.6, 4.10, 4.14 овардашудаи хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , ки бо титан ва сирконий ҷавҳаронида шудаанд, дар муҳити электролити 3,0%-и  $NaCl$  дида мешавад, ки иловаҳои компонентҳои ҷавҳарӣ дар ҳудудҳои аз 0,01 то 0,5 %-и вазн ба минтақаи мусбӣи потенциалҳои электрохимиявӣ ҷой иваз мекунад. Натиҷаҳои тадқиқот аз он гувоҳӣ медиҳанд, ки хӯлаҳои зикргашта нисбатан суръати анодии пасти зангзанӣ доранд [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А];

– бо омӯзиши таъсири элементҳои ҷавҳарӣ (Ti, Zr) нишон муайян карда шудааст, ки қиматҳои потенциалҳои репассиватсия, питтингҳосилкунӣ ва зангзании озоди хӯлаи рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  аз миқдори титан ва сирконий дар муҳитҳои тадқиқшавандаи электролити  $NaCl$  меафзоянд [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А];

– бо омӯхтани рафтори анодии хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , ки бо титан ва сирконий ҷавҳаронида шудаанд, муайян карда шудааст, ки бо зиёд шудани миқдори титан ва сирконий питтингустувории хӯлаҳои ибтидоӣ меафзояд, чунки ҷойивазшавии қиматҳои потенциали питтингҳосилкунӣ ба минтақаи нисбатан мусбӣ ба амал меояд. Хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминӣ дар муҳити электролити 0,03%-и  $NaCl$  ба зангзании питтингӣ устувории баланд доранд. Гувоҳи ин суръати анодии зангзании пасти хӯлаҳо ба ҳисоб меравад (ҷадвалҳои 4.2, 4.6, 4.10, 4.14 ва расмҳои 4.3, 4.5, 4.7, 4.9) [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А];

– аз ҳама бештар иловаи самараноки ҷавҳарии таркиби хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  сирконий ба ҳисоб меравад, зеро хӯлаҳо бо иловаҳои сирконий қиматҳои камтарини суръатҳои зангзанӣ доранд (ҷадвалҳои 4.9, 4.10, 4.13, 4.14, 4.17, 4.18 ва расмҳои 4.6, 4.7, 4.8, 4.9) [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А];

Қиматҳои ба даст овардашудаи тавсифҳои зангзанӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий имкон

медиханд, ки онҳоро ба сифати рӯйпӯши анодӣ барои муҳофизати маснуот ва иншооти пӯлодӣ аз зангзанӣ тавсия намоем [3-А, 6-А, 7-А, 9-А, 11-А].

## ХУЛОСА

### I. Натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳо

1. Дар речаи «хунукшавӣ» хосиятҳои физикаи гармои хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий омӯхта шудаанд. Функсияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  бо иловаҳои титан ва сирконий аз рӯйи қиматҳои гармиғунҷоиши онҳо ҳисоб карда шудаанд. Бо зиёдшавии миқдори иловаҳо (Ti, Zr) ба таркиби хӯлаҳои ибтидоии  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$ , инчунин баланд шудани ҳарорат нишон дода шудааст, ки гармиғунҷоиши нисбӣ, коэффитсиенти гармидихӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаҳои рӯхӣ-алюминий меафзоянд, қимати энергияи Гиббс бошад, дар ин маврид паст мешавад [1-А, 2-А, 12-А, 13-А, 14-А, 15-А, 16-А].

2. Нишон дода шудааст, ки ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои ибтидоии  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  ба хӯлаҳои бо титан ҷавҳаронидашуда бузургии гармиғунҷоиш меафзояд, сипас ҳангоми гузаштан аз хӯлаҳои бо титан ба хӯлаҳои бо сирконий бузургии гармиғунҷоиш паст мешавад. Бузургии энталпия ва энтропияи хӯлаҳо ҳангоми гузариш аз хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ба хӯлаҳои бо титан меафзояд, ҳангоми аз хӯлаи ибтидоии рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ба хӯлаҳои бо сирконий бошад, паст мешавад, дар ин ҳол қимати энергияи Гиббс паст мешавад. Барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55Al$  бо титан ва сирконий, инчунин қонуниятҳои дар боло овардашуда хос мебошанд. Муқоисаи бузургиҳои гармиғунҷоиши хӯлаҳои ибтидоӣ нишон медиҳанд, ки гармиғунҷоиши нисбии хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55Al$  назар аз хӯлаи  $Zn5Al$  баланд мебошад [1-А, 2-А, 12-А, 14-А, 15-А, 16-А].

3. Кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи системаҳои  $Zn5Al + (Ti, Zr)$  ва  $Zn55Al + (Ti, Zr)$  дар ҳолати сахтӣ бо усули термогравиметрӣ тадқиқ карда шудаанд. Муқаррар гардидааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонунияти гиперболӣ тобеъ мебошанд. Суръати оксидшавии ҳақиқӣ тартиби  $10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сония}^{-1}$  дорад. Муайян шудааст, ки қимати камтарини суръати оксидшавӣ ва бузургии калонтарини энергияи ғаёл барои хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  бо титан ва сирконий хос мебошад, қимати зиёдтарини суръати оксидшавӣ бошад, ба хӯлаи рӯхӣ-алюминийи  $Zn55A$  бо титан ва сирконий дахл дорад. Нишон дода шудааст, ки компонентҳои ҷавҳарикунанда дар ҳудудҳои 0,01-0,5%-и вазн оксидшавии хӯлаҳои ибтидоии рӯхӣ-алюминийро паст менамоянд [3-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 11-А].

4. Бо усули потенциостатикӣ дар муҳитҳои нейтралӣ (0,03; 3,0% NaCl) рафтори анодии хӯлаҳо тадқиқ карда шудааст. Муқаррар карда шудааст, ки миёни элементҳои ҷавҳарии хӯлаҳои рӯхӣ-алюминийи  $Zn5Al$  ва  $Zn55Al$  нисбатан иловаи босамар сирконий ба ҳисоб меравад, чунки хӯлаҳои бо сирконий ҷавҳаронидашуда бо қиматҳои камтарини суръати зангзанӣ тавсиф карда мешаванд [3-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 11-А].

5. Нишон дода шудааст, ки бо меъёри зиёдшавии дараҷаи ғализии хлорид-ион дар электролит, потенциали  $E_{\text{занг.оз.}}$ -и хӯлаҳои рӯхӣ-алюминӣ паст мегардад, ки бо афзоиши суръати зангзании хӯлаҳо дар муҳити электролити NaCl гуселонида мешавад [3-А, 6-А, 7-А, 8-А, 9-А, 11-А]

6. Таркибҳои ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатии анодии коркардашудаи хӯлаҳо бо нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон №ТJ 1300 аз 26-уми сентябри соли 2022 муҳофизат карда шудаанд [6-А].

## II. Тавсияҳо оид ба истифодабарии амалии натиҷаҳо

Хӯлаҳои коркардашуда метавонанд ба сифати рӯйпӯши анодӣ барои муҳофизати маснуот ва иншооти пӯлодӣ, таркиби пӯлодии гуногун ва маснуоти истифодашавандае, ки ҳангоми таъсири зангзании муҳити табиат – ҳаво, обҳои баҳрӣ, наҳрӣ, кӯлӣ, қабатӣ, ҳосилшуда, хок, инчунин маҳлулҳои

обии нейтралӣ ва сустишқор аз зангзанӣ истифода бурда шаванд. Ба сифати масолеҳи ғайриконструксионӣ хӯлаҳои рӯҳӣ-алюминийи коркардашуда метавонанд барои рехтани анодҳо-протекторҳо, барои тайёр кардани лаҳимҳо дар истеҳсолоти подшипникҳо ва элементҳои галванӣ ҳамчун рӯйпӯши варақаҳои пӯлодӣ истифода бурда шаванд. Инчунин натиҷаҳои кори рисола барои коркардҳои амалӣ дар соҳаҳои пешрафтаи масолеҳшиносии муосир ҳамчун дастури таълимӣ дар курсҳои профили лексионӣ ва озмоишии муассисаҳои таълимии олӣ метавонанд истифода бурда шаванд. (Санад оид ба дар амал тадбиқ намудани натиҷаҳои кори рисола замима мегардад).

## АДАБИЁТ

1. Дж. Алиев, З. Обидов, И. Ганиев. Цинк-алюминиевые защитные покрытия нового поколения. Физико-химические свойства цинк-алюминиевых сплавов с щелочноземельными металлами. Германия: Издательский дом LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. -130с.

2. Кечин В.А., Люблинский Е.Я. Цинковые сплавы. М.: Металлургия. 1986. -247с.

3. Влияние технологических факторов на образование дефектов структуры в крупнотоннажных слитках из алюминиевых сплавов серии 1XXX / В. Ф. Фролов, С. В. Беляев, И. Ю. Губанов, А. И. Безруких, И. В. Костин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2016. Т. 14, № 2. С. 25-31.

4. Основные виды и области применения наноструктурированного высокопрочного листового проката / М. В. Чукин, В. М. Салганик, П. П. Полецков, А. С. Кузнецова, Г. А. Бережная, М. С. Гущина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2014. № 4. -С. 41-44.

5. Живописцев В.П., Селезнева Е.А. Аналитическая химия цинка. М.: Наука, 1975. 200 с.

6. Schmeling E.L. – Metallenerfläche, 1982, Bd 36, № 7, S. 333.

7. Обидов З.Р., Ганиев И.Н. Физикохимия цинк-алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами. – Душанбе: «Андалеб Р», 2015. – 334 с.

8. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справочник / В.Е. Зиновьев. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.

9. Тонков, Е.Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении / Е.Ю. Тонков. – М.: Наука, 1979. – 192 с.

10. Свойства элементов: справочник / Под ред. М.Е. Дрица. – М.: Металлургия, 1985. – 671 с.



11. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: справочник / Под ред. В.П. Глушкова. – М.: Наука, 1982. – 559 с.
12. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел / С.И. Новикова. – М.: Наука, 1974. – 291 с.
13. Теплопроводность твердых тел: справочник / Под ред. А.С. Охотника. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 321 с.
14. Таблица физических величин: справочник / Под ред. И.К. Кикорина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с.
15. Кожевников, И.Г. Теплофизические свойства материалов при низких температурах / И.Г.Кожевников, Л.А.Новицкий. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.
16. Беляев, А.И. Металловедение алюминия и его сплавов: справочник / А.И. Беляев, О.С. Бочвар, Н.Н. Буйнов и др.; 2-е изд. – Под ред. акад.И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1983. – 280 с.
17. Hultgpen, P. Selected values of the thermodynamic properties of the elements // P. Hultgpen, All Ohio, Metals park, 1973 -342 p.
18. Бергман, Г.А. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Г.А. Бергман, И.В. Вейц, В.А. Медведов, Г.А. Хачкурузов, В.С. Юнгман -М.: Наука, 1981 -472 с.
19. Alexander S, Helman J S, Balderg I Critical behavior the electrical resistivity on magnetic systems //Phys Rev - 1976 -V 130 - P 304-315.
20. Chi T C Electrical resistivity of alkah elements//J Phys Chem Ref Data - 1979 - V 8 - P. 339-438
21. Su D -R Resistivity anomalies for ferromagnetic metals at Curie Point Short range magnetization fluctuations //J Low Temp Phys - 1976 - V 24 p 701-708
22. Каган Ю М, Максимов Л А К теории аномального эффекта Холла в ферромагнетиках //ФТТ - 1965 - Т 7, № 2 - С. 530-538

23. Ирхин Ю Н, Лбельский Щ Ш Рассеяние на спиновых неоднородностях и спонтанный Холл-эффект в ферромагнетиках //ФТТ - 1964 - Т 6 - С. 1636-1644.
24. Жернов А П, Каган Ю М Определение электросопротивления и тепло-сопротивления металлов Na и K из «первых принципов» //ФТТ - 1978 - Т. 20 - С. 3306-3320.
25. TPRC Data Book Series on Thermophysical Properties v 1-5 Thermal Conductivity Plenum Pub Corp - N -Y 1969.
26. Термодинамические свойства индивидуальных веществ Справочник/Под редакцией Глушкова В Л - М Наука, 1982 - 559 с.
27. Зиновьев В Е Кинетические свойства металлов при высоких температурах Справочник - М.: Металлургия, 1984 - 200 с
28. Свойства элементов Справочник/Под ред. Дрица М.Е -М: Металлургия - 1985 - 671 с.
29. Зиновьев В.Е., Коршунов И. Г. Теплопроводность и температуропроводность переходных металлов при высоких температурах/Обзоры по теплофизическим свойствам веществ, -Ч1. Обзор экспериментальных данных - М.: ИВТАН СССР - 1978 - № 4 –С. 121, Ч II Особенности механизмов рассеяния электронов и фононов – М.: ИВТ АН СССР - 1979 - №4 - 119 с.
30. Теплофизические свойства титана и его сплавов Справочник /Под ред. Шейндлина А. Е. - М.: Металлургия - 1985 - 103 с.
31. Ramji Rao R, Rajput A Lattice specific heat and thermal expansion titanium//Phys Rev - 1979 -V B19, № 6 - P. 3323-3328.
32. Свойства элементов Справочник/Под ред Самсонова Г В - М Металлургия - 1976 - 599 с.
33. Williams R K, Fulkerson W Separation of the electronic and lattice contribution to the thermal conductivity of metals and alloys //Thermal Conductivity Proc 1-th Conf W Laf - USA, 1968 - P. 1 - 180.

34. Biswas S. N, Van't Klooster P, Trappenters N J Effect of pressure on the elastic constants of noble metals from -196 to +25 °C and up to 2500 bar // Physica -1981 -V 103 B, № 23 - P 235-246.

35. Гулов, Б.Н. Теплофизические свойства особо чистого алюминия и его сплавов с кремнием, медью и некоторыми редкоземельными металлами: автореф. дис. канд. физ.- мат. наук / Гулов Б.Н.– Душанбе, 2015. – 25 с.

36. Низомов, З. Исследование удельной теплоемкости алюминия, меди и цинка методом охлаждения и сравнение с теорией Дебая / З. Низомов, Б.Н. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Авезов // Матер. IV Межд. научно-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования». ТТУ им. М.С. Осими, 2010. – С. 188-191.

37. Кечин, В.А. Цинковые сплавы / В.А. Кечин, Е.Я. Люблинский. –М.: Metallurgia, 1986. – 247 с.

38. Томашов, И.Д. Коррозия и коррозионностойкие сплавы / И.Д. Томашов, Г.Л. Чернова. – М.: Metallurgia, 1973. – 232 с.

39. Синявский, В.С. Коррозия и защита алюминиевых сплавов / В.С. Синявский, В.Д. Волков, В.Д. Калинин. – М.: Metallurgia, 1986. – 640 с.

40. Клячко, Ю.А. Прогрессивная технология приборостроения / Ю.А. Клячко, Л.Л. Кунин. – М.: Mashgaz., 1983. – 260 с.

41. Строкана, Б.В. Коррозионная стойкость оборудования химических производств / Б.В. Строкана, А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1987. – 280 с.

42. Воробьева, Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г.Я. Воробьева. - М.: Химия. - 1975. - 816 с.

43. Туфанов, Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов / Д.Г. Туфанов. – М.: Metallurgia, 1982. - 352 с.

44. Ворошнин, Л.Г. Антиккоррозионные диффузионные покрытия / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Наука и техника, 1981. – 296 с.

45. Вишенков, С.А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий / С.А. Вишенков. – М.: Машиностроение, 1975. – 312 с.

46. Лепинских, Б.М. Об окислении жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы / Б.М. Лепинских, В.И. Киселев // Известия АН СССР. Металлы. – 1974. – № 5. – С. 51-54.
47. Постников, Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы / Н.С. Постников. – М.: Металлургия, 1976. – 301 с.
48. Шиврин, Г.Н. Металлургия свинца и цинка / Г.Н. Шиврин. – М.: Металлургия, 1982. – 352с.
49. Торопов, Н.П. Диаграмма состояния силикатных систем: справочник / Н.П. Торопов, В.П., Барзаковский и др.– Л.: Наука, 1969. - 337 с.
50. Слэндер, С.Д. Коррозионная стойкость цинка / С.Д. Слэндер, У.К. Бойд; пер. с.англ. -под. ред. Е.В. Проскуркина. - М.: Металлургия, 176. -200 с.
51. Труфанова, А.И. Защита металлов от разрушений / А.И. Труфанова, С.А. Хлебникова. – Тула: Приокск. кн. изд., 1981. – 88 с.
52. Горбунов, Н.С. Диффузионные цинковые покрытия / Н.С. Горбунов. –М.: Металлургия, 1972. – 247 с.
53. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
54. Ройх, И.Л. Защитные вакуумные покрытия на стали / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова. – М.: Машиностроение, 1971. – 280 с.
55. Ройх, И.Л. Нанесение защитных покрытий в вакууме / И.Л. Ройх, Л.Н. Колтунова, С.Н. Федосов. – М.: Машиностроение, 1976. – 367 с.
56. Кудрявцев, Н.Т. Электролитические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. –М.: Химия, 1979. – 351 с.
57. Обидов, З.Р. Теплопроводность алюминиево-железовых сплавов, легированных индием и таллием / З.Р. Обидов, М.М. Сафаров, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. – Т.51. – № 10. – С. 742-745.
58. Шлугер, М.А. Коррозия и защита металлов / М.А. Шлугер, Ф.Ф. Ажогин, Е.А. Ефимов. – М.: Металлургия, 1981. – 216 с.

59. Пономарева, А.А. Современное состояние промышленности по обработке цинка за рубежом / А.А. Пономарева, Б.И. Пучков. – М.: Цветмет информация, 1977. – 51 с.

60. Обидов, З.Р. Коррозия алюминиево-железовых сплавов, легированных галлием, индием и таллием: автореф. дис. канд. техн. наук: 02.00.04 / Обидов Зиёдулло Рахматович. – Душанбе, 2009. – 22 с.

61. Обидов, З.Р. Коррозионно-электрохимические и физико-химические свойства сплава Al+2.18% Fe, легированного индием / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, И.Т. Амонов // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – № 2. – С. 264-267.

62. Обидов, З.Р. Анодное поведение и окисление сплава Al+2.18% Fe, легированного таллием / З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85. – № 11. – С. 1781-1784.

63. Обидов, З.Р. Влияние pH среды на анодное поведение сплава Zn55Al, легированных скандием / З.Р. Обидов, А.В. Амонова, И.Н. Ганиев // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2013. – № 2. – С. 247-254.

64. Obidov, Z.R. Influence of the pH of the medium on the anodic behavior of scandium – doped Zn55Al alloy / Z.R. Obidov, A.V. Amonova, I.N. Ganiev // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. - 2013. - Vol. 54. - No. 3. - P. 234-238.

65. Ф.А.Рахимов, И.Н.Ганиев, З.Р.Обидов, Т.М.Умарова, В.Д.Абулхаев. Влияние молибдена на коррозионно-электрохимические свойства сплава Zn5Al, в нейтральной среде // Известия Академии наук Республики Таджикистан.-2017. №3 (168).-С.70-75.

66. Таблицы физических величин. Справочник / под ред. Кикоина И.К. – М.: Атомиздат. 1976. –1006 с.

67. TPRC Data Book Series on Thermophysical Properties v 1-5 Thermal Conductivity Plenum Pub. Corp. N–Y. 1969.

68. Теплофизические свойства щелочных металлов / Шпильрайн Э.Э., Якимович К.А., Тацкий Е.Е., Тимрот Д.А., Рошин.

69. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. –М.: Наука, 1974. –291с.

70. Selected values of the thermodynamic properties of the elements / ed by Hylltgren P and all Ohlo, Metals park, 1973.

71. Зиновьев В.Е. Кинетические свойства металлов при высоких температурах Справочник – М.: Металлургия, 1984. –200 с.

72. Ho C.Y., Powell R.W., Liley P.E. Thermal conductivity of the elements comprehensive review // J Phys Chem Rev Data. 1974. – V. 3 suppl № 1.

73. Pathar P.D. Shan N.P. Debye temperatures of silver and aluminium of high temperatures. Some new correlations // Phys Stat Sol. 1979.–V.55a, №2. – P. 159-162.

74. Thermal properties of meter, V 10. Thermal diffusivity ed by Touloukian Y S- N Y, W IFI / Plenum. 1973. – 649 p.

75. Теплопроводность твёрдых тел. Справочник / Под ред. Охотина А.С. –М.: Энергоатомиздат. 1984. –321 с.

76. Desal P.D., James H.M., Ho C.Y. Electrical resistivity of aluminium and manganese // J Phys Chem Ref Data. 1984. –V.13, №4. – P. 1131-1172.

77. Корякин Ю.В., Ангелов И.И. Чистые химические вещества. 4-е изд. перер. и доп. –М.: Химия, 1974. –407 с.

78. Рябин В.А., Остроумов М.А., Свит Т.Ф. Термодинамические свойства веществ: Справочник. – Л.: Химия, 1977. – 389 с.

79. Свойства элементов: Справочник в 2-х т/под ред. Г.В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1976, Т. I . –599 с., Т. II. –383 с.

80. Desal P.D. Thermodynamic properties of iron and silicon // J Phys Chem Rev Data. 1986. – V. 15, №3. – P. 967-983.

81. Temperature dependence of the specific heat and thermodynamic functions of alloys of the Pb-Ca system / I.N. Ganiev, N.M. Mulloeva, Z.Nizomov, F.U. Obidov // High temperature. 2014. Vol. 52. Iss. 1. –P. 138-140.

82. Влияние кальция на температурную зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АК12М2 / Ганиев И.Н., Зокиров Ф.Ш., Сангов М.М., Иброхимов Н.Ф. // Теплофизика высоких температур. 2018. Т.56. -№6. –С. 891-896.

83. Температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплава АК1, легированного стронцием / Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Иброхимов Н.Ф., Махмудов М. // Теплофизика высоких температур. 2019. Т.57. №1. –С. 26-31.

84. Temperature Dependence of Heat Capacity and the Variation in Thermodynamic Function of the AZh 4.5 Alloy Doped with Tin / Ganiev I.N., Safarov A.G., Odinaev F.R., Yakubov U.Sh., Kabutov K // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2019, Vol. 60, No. 2, –P. 139-145.

85. Температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплава АК1М2, легированного стронцием / Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Иброхимов Н.Ф., Махмудов М. // Изв. ВУЗов. Материалы электронной техники. 2018. Т.21. №1. –С. 35-42.

86. Влияния кальция на температурную зависимость удельной теплоёмкости и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ5К10 / Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Сангов М.М., Сафаров А.Г. // Вестник Казанского технологического университета. 2018. Т.21. №8. –С. 11-15.

87. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций свинцового сплава ССуЗ с кальцием / Ниёзов О.Х., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». 2019. Т. 19, №3. –С. 33-43.

88. Влияние празеодима на температурную зависимость удельной теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18 / Эсанов Н.Р., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х. // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. №8(81). – С. 56-63.

89. Влияние стронция на теплоёмкость и изменение термодинамических функций свинцового сплава ССуЗ / Ганиев И.Н., Ниёзов О.Х., Сафаров А.Г., Муллоева Н.М. // Известия Санкт-Петербургского

государственного технологического института (технического университета). 2018. № 47(73). –С. 36-42.

90. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функция сплава АК1М2 с кальцием / Отаджонов С.Э., Ганиев И.Н., Махмудов М., Сангов М.М. // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия техника и технологии. 2018. №3 (28). – С. 105-115.

91. Влияние стронция на температурную зависимость удельной теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ5К10 / Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Махмадизода М.М., Сафаров А.Г., Ганиева Н.И. // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия естественных наук. 2018. №3. –С. 61-67.

92. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функции алюминиевого сплава АЖ 4.5, легированного свинцом / Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Одинаев Ф.Р., Кабутов К., Ботуров К. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. №4 (26). - С.17-23.

93. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 с церием / Эсанов Н.Р., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ганиева Н.И. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2019. №2 (28). –С. 20-30.

94. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АК9 / Ширинов М.Ч., Ганиев И.Н., Олимов Н.С., Иброхимов Н.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №3 (43). –С. 27-29.

95. Температурная зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава свинца с висмутом / Хайдаров А.М., Эшов Б.Б., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №4 (44). –С. 46-51.



96. Температурная зависимость удельной теплоёмкости и изменение термодинамических функций алюминиевых сплавов АМг2 и АМг6 / Вазиров Н.Ш., Ганиев И.Н., Насриддинов А.С., Шарипова Х.Я. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №4 (44). –С. 52-54.

97. Удельная теплоёмкость и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 (Al+1%Be) / Исмонов Р.Д., Ганиев И.Н., Одиназода Х.О., Сафаров А.М., Иброхимов Н.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. №1 (45). –С. 86-91.

98. Температурная зависимость удельной теплоёмкости сплава АК12, модифицированного иттрием / Бадурдинов С.Т., Ганиев И.Н., Саидов Р.Х., Иброхимов Н.Ф. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. №1 (45). –С. 98-103.

99. Влияние добавок индия на температурную зависимость теплоёмкости и изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АМг2 / Шарипова Х.Х., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И., Иброхимов Н.Ф., Давлатзода Ф.С. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. №2 (46). –С. 71-78.

100. Влияние бария на температурную зависимость удельную теплоёмкость и на изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 / Джайлоев Дж.Х., Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Ибрахимов Н.Ф., Азимов Х.Х. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №4. –С. 240-248.

101. А.М. Лидер, Ю.С. Бордулев, Р.М. Галимов и др. Физический практикум. Часть 4. Термодинамика. Молекулярная физика. ФГБОУ ВПО «Томский политехнический университет». 2013. –183 с.

102. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплава АК1М2, легированного празеодимом и неодимом / И.Н. Ганиев, Х.Х. Ниёзов, Б.Н. Гулов, З. Низомов, А.Э. Бердиев // Вестник СибГИУ. 2017. № 3. –С. 32-39.

103. Теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов системы Pb-Sr / Н.М. Муллоева, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, Х.А.

Махмадуллоев, З. Низомов // Известия Самарского научно центра. Российской академии наук. 2014. Т. 6, № 6. –С. 38-42.

104. Влияние скандия на физикохимические свойства сплава АМг4 / С.Ж. Иброхимов, Б.Б. Эшов, И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2014. Т.16, № 4. – С. 256-260.

105. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплавов системы Рb-Са / И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, З. Низомов, Ф. У. Обидов, Н.Ф. Иброхимов // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52, № 1. –С. 147-150.

106. Влияние церия на теплофизические свойства сплава АМг2 / Н.Ф. Иброхимов, И.Н. Ганиев, З. Низомов, Н.И. Ганиева, С.Ж. Иброхимов // Физика металлов и металловедения. 2016. Т. 117, № 1. –С. 53-57.

107. Исследование температурной зависимости удельной теплоёмкости алюминия марок ОсЧ и А7 / З. Низомов, Б.Н. Гулов, И.Н. Ганиев, Р.Х. Саидов, Ф.У. Обидов, Б.Б. Эшов // Доклады АН Республики Таджикистан. 2011. Т. 54, № 1. –С. 53-59.

108. Иброхимов Н.Ф., Ганиев И.Н., Ганиева Н.И. Влияние иттрия на теплофизические свойства сплава АМг2 // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2017. №2. (67). –С. 177-187.

109. Низомов З., Гулов Б., Саидов Р.Х., Авезов З. Измерение удельной теплоёмкости твердых тел методом охлаждения. Вестник национального университета. 2010, № 1. –С. 36-39.

110. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. –М.: Энергия, 1973. –144 с.

111. Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. Теплофизические свойства металлов при низких температурах. Справ. Изд. –М.: Машиностроение, 1975. – 216 с.

113. Влияние церия на теплофизические свойства сплава АМг2 / Н.Ф. Иброхимов, И.Н. Ганиев, З. Низомов, Н.И. Ганиева, С.Ж. Иброхимов // Физика металлов и металловедения. 2016. Т. 117, № 1. –С. 53-57.
114. Влияние титана на удельную теплоёмкость и изменений термодинамических функций сплава Zn55Al / Ф.М. Аминов, И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, А.Г. Сафаров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2019. № 1. –С. 26-31.
115. Измерение удельной теплоёмкости твердых тел методом охлаждения / З. Низомов, Б. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Авезов // Вестник Таджикского национального университета. 2010. Вып. 3(59). –С.136-141.
116. Температурная зависимость термодинамических функций сплавов Zn5Al и Zn55Al / И.Н.Ганиев, Дж.Н. Алиев, Алиханова С.Дж., Одинаева Н.Б., Иброхимов Н.Ф. // Доклады АН РТ, Т. 57. -Душанбе: Дониш, 2014, № 7. –С. 588-593.
117. Зиновьев В.Е., Коршунов И.Г., Теплопроводность и температурапроводность, переходных металлов при высоких температурах / Обзоры по теплофизическим свойствам веществ, -Ч.1 Обзор экспериментальных данных-М.: ИВТАН СССР. 1978. №4.-121с.
118. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплавов системы Рb-Са / И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, З. Низомов, Ф. У. Обидов, Н.Ф. Иброхимов // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52, № 1. –С. 147-150.
119. Desai P.D. Thermodynamic properties of iron and silicon // J Phys Chem Ref Data. 1986. V.15, № 3. – P. 967-983
120. Лепинских Б.М., Киселев В. Кинетика окисления жидкого алюминия. -Рук. деп. в ВИНТИ. - 1976. - С. 342-354.
121. Радин А.Я. Исследование кинетики окисления алюминиевых сплавов в жидком состоянии// Вопросы технологии литейного производства. – М.: Московский авиационный технологический институт. 1961. Вып. –С. 98-118.

122. Шестопал В.Н., Шумихин В.С., Бурман П.Н. Литейное производство зам рубежом. Киев.: Наукова думка, 1983. –246 с.

123. Самсонов Г.В. и др. Физико-химические свойства окислов. Справочник. – М.: Металлургия, 1974. –472 с.

124. Радин А.Я. Свойства расплавленных металлов. – М.: Наука, 1974. – С. 116-122.

125. Алиев Дж. Н. Кинетика окисления и анодное поведение цинк - алюминиевых сплавов, легированных щелочноземельными металлами. 02.00.04 - Физическая химия, 05.17.03-Технология электрохимических процессов и защита от коррозии / автореф. дис. к-та тех. наук: Душанбе, 2010. – С. 78-79.

126. Лепинских Б.М., Киташев А.А., Белоусов А.А. Окисление жидких металлов и сплавов. – М.: Наука, 1979, –116 с.

127. О.П. Реут, В.Л. Гуревич и др. Поверка средств измерений механических величин. Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации, студентов технических ВУЗов. – Минск, 2016.

128. GALVAN.RU

129. 128. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов/учебник для вузов.: М. МИСиС, 1998. –400 с.

130. 129. Бернштейн М.Л. Займовский В.А. Механические свойства металлов. Металлургия, 1979 – 496 с.

131. 130. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов; учебное пособие для вузов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 239 с.

132. Дж.Н. Алиев. Твердость сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированного щелочноземельными металлами // Вестник Таджикского технического университета. 2014, №4(28). С.88-91.

133. Физическое металловедение: Учебник для вузов. Грачев С.В., Бараз В.Р., Богатов А.А., Швейкин В.П. – Екатеринбург: УПИ, 2001 – 534 с.

134. Азаренков Н.А., Литовченко С.В., Неклюдов И.М., Стоев П.И. Коррозия и защита металлов. Часть 1. Химическая коррозия металлов. Учебное пособие. – Харьков: ХНУ, 2007. – 187 с.

135. Замалетдинов И.И. Электрохимическая коррозия и защита металлов. Учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 152 с. – ISBN 978-5-398-00465-6.

136. Фрейман, Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите / Л.И. Фрейман, В.А. Макаров, Е.И. Брыськин. – М.: Химия. 1972. – 240 с.

137. Умарова, Т.М. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах / Т.М. Умарова, И.Н. Ганиев // Душанбе: Дониш. 2007. 257с.

138. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.

**МУНДАРИЦАИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР НАШРИЯҶОИ ЗЕРИН  
БАЁН ГАРДИДААНД:**

*Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии*

*Тоҷикистон тавсиягардида нашр шудаанд:*

[1-А]. И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, **Ф.М. Аминов**, С.Г. Сафаров. Влияние титана на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций сплава Zn55Al // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки №1. – 2019. – С. 26-31.

[2-А]. Ганиев И.Н., Алиев Дж.Н., **Аминов Ф.М.** Влияние циркония на удельную теплоемкость и изменений термодинамических функций цинкового сплава Zn55Al // Вестник Пермского национального

исследовательского политехнического университета.  
Машиностроение, материаловедение. №4. Т. 22. -2020. - С.13-19.

- [3-А]. И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, **Ф.М. Аминов**, З.Ф. Нарзуллоев. Влияние добавок титана на потенциал коррозии сплава Zn5Al в среде электролита NaCl // Вестник Таджикского технического университета, №1(33). –Душанбе: Деваштич, 2016. -С. 24-27.
- [4-А]. **Аминов Ф.М.** Оксидшавии хӯлаи рӯҳии Zn5Al бо сирконий дар ҳолати сахт, дар муҳити газӣ // Паёми Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, № 1 (48). – 2022. –С. 24–31.
- [5-А]. Ganiev I.N., Aliev J.N., **Aminov F.M.** Influence of zirconium on microstructure and mechanical properties of zinc-aluminum alloys Zn5Al and Zn55Al // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering research. №. 2(58). 2022. - P.65-70.

***Ихтироот аз руи мавзӯи рисола:***

- [6-А]. Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ 1300. Хӯлаи руҳу алюминий / аризадиханда ва дорандаи патент: И.Н. Ганиев, Ҷ.Н. Алиев, **Ф.М. Аминов**, З.Ф. Нарзуллоев, Абдулло М.А. / №2101618; ариз. 27.12.2021с, чоп. 26.09.2022, Бюл. 187, 2022. –бс.

***Мақолаҳое, ки дар маводҳои конференсияҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ  
нашр шудаанд:***

- [7-А]. **Ф.М. Аминов**, И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, З.Ф.Нарзуллоев. Анодное поведение сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных цирконием, в среде электролита NaCl// Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы материаловедения в машиностроении Республики Таджикистан». АН Республики Таджикистан, Институт химии им. В.И. Никитина. - 2016. - С.80-83.
- [8-А]. **Ф.М. Аминов**, И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, З.Ф. Нарзуллоев. Влияние добавок титана на потенциал коррозии сплава Zn55Al в среде электролита NaCl. XIII Нумановские чтения. Достижения химической

науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан, посвящённые 70-летию образования Института химии имени В.И. Никитина Академии наук Республики Таджикистан. Душанбе - 2016. –С. 114-116.

- [9-А]. Алиев Дж.Н., Ганиев И.Н., **Аминов Ф.М.**, Нарзуллоев З.Ф. Влияние добавок титана на стационарный потенциал сплавов Zn5Al и Zn55Al, в среде электролита NaCl // Материалы XX Международной научно-практической конференции. Белгород –2016. № 11, часть 2 –С. 6-9.
- [10-А]. Дж.Н. Алиев, **Ф.М. Аминов.** Влияние добавок титана и циркония на твердость сплавов Zn5Al и Zn55Al // Материалы Респ. научн. практич. конф. «Перспективы развития естественных наук» посвященной реализации «Программы развития естественных, математических и технических наук на 2010-2020 годы». Российско – Таджикский (Славянский) университет. - 2018. - С. 65-68.
- [11-А] Анодное поведение сплава Zn5Al, легированного титаном, в среде электролита NaCl // Материалы Международной научно-практической конференции «перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности республики Таджикистан», Институт химии им. В.И. Никитина. – 2018. - С.10-13.
- [12-А]. Одиназода Х.О., Алиев Дж.Н., **Аминов Ф.М.** Влияние циркония на изменение термодинамических функций сплава Zn55Al // Маҷмӯи маводҳои конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрон, унвонҷӯён ва олимони ҷавон “Муҳандис-2019”. Қисми I. ДТТ ба номи акад. М.Осимӣ. -2019. -С. 69-73.
- [13-А]. Саидзода Х.О., Алиев Дж.Н., **Аминов Ф.М.** Влияние циркония на удельную теплоемкость и коэффициента теплоотдачи сплава Zn55Al // Маҷмӯи маводҳои конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрон, унвонҷӯён ва олимони ҷавон “Муҳандис-2019”. Қисми I. ДТТ ба номи акад. М.Осимӣ. -2019. -С. 73-77.

- [14-А]. **Аминов Ф.М.**, Саидзода Р.Х., Алиев Дж.Н., Ганиев И.Н. Влияние титана на изменение термодинамических функций сплава Zn55Al // Материалы IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хамида Мухсиновича и Юсуфова Зухриддина Нуриддиновича. ТНУ. – 2019. - С. 71-75.
- [15-А]. **Аминов Ф.М.**, Одиназода Х.О., Алиев Дж.Н., Ганиев И.Н. Влияние титана на удельную теплоемкость и коэффициента теплоотдачи сплава Zn55Al // Материалы IV международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химии», посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Хамида Мухсиновича и Юсуфова Зухриддина Нуриддиновича. ТНУ. – 2019. - С. 103-107.
- [16-А]. **Аминов Ф.М.**, Алиев Дж.Н., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г. Влияние титана на изменение термодинамических функций сплава Zn5Al // Материалы научно-практической республиканской конференции «Индустриализация – фактор развития экономики республики», Бустон – 2020. - С. 4-6.
- [17-А]. **Аминов Ф.М.**, Алиев Дж.Н., Ганиев И.Н. Окисление кислородом газовой фазы цинкового сплава Zn5Al с титаном, в твердом состоянии // Материалы X-ой научно-практической конференции «Ломоносовские чтения». Част-I. Естественные науки, Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. – 2020. – С. 37-41.
- [18-А]. Дж.Н. Алиев, **Ф.М. Аминов**. Влияние титана на микроструктуру и механические свойства цинково-алюминиевого сплава Zn5Al // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Современные проблемы металлургической промышленности». ТТУ им. акад. М.С. Осими. – 2021. – С. 98-103.



## ЗАМИМА

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Аминов Ф.М.

муаллифи ихтирон *Хӯлаи рӯҳу алюминий*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1300 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Муассисаи "Парки технологӣ"-и Донишгоҳи техникии  
Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Ғаниев И.Н., Алиев Ҷ.Н., Нарзуллоев З.Ф.,  
Абдулло М.А.

Аввалияти ихтироъ 27.12.2021

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 27.12.2021

Аризаи № 2101618

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

26 сентябри с. 2022 ба қайд гирифта шуд  
Нахустпатент

этибор дорад аз 27 декабри с. 2021 то 27 декабри 2031 с.

Ин шаҳодатнома ҳангоми амалӣ гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузори  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.



Республика Таджикистан

(19) **TJ** (11) **1300**  
 (51) **МПК: C22C 18/00;**  
**C22C 18/04**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
 ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения**  
 К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2101618

(22) 27.12.2021

(46) Бюл. 187, 2022

(71)(73) Учреждение "Технологический парк" Та-  
 джикского технического университета им. акад. М.С.  
 Осими (ТJ)

(72) Ганиев И.Н. (ТJ); Алиев Дж.Н. (ТJ); Аминов  
 Ф.М. (ТJ); Нарзуллоев З.Ф. (ТJ); Абдулло М.А. (ТJ)

(54) **ЦИНКОВО-АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ**

(56) [1]. Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Амонова А.В., Са-  
 фаров А., Джураева М. Цинк-алюминиевый сплав.  
 Малый патент № ТJ 422 от 09. 02. 2011г.

[2]. Ганиев И.Н., Алиев Дж.Н., Обидов З.Р., Га-  
 ниева Н.И. Цинк-алюминиевый сплав. Малый па-  
 тент № ТJ 276 от 19. 05. 2009г.

(57) Изобретение относится к области металлур-  
 гии, в частности к сплавам на основе цинка, предна-

2

значенным в качестве антикоррозионного покрытия  
 для защиты от коррозии стальных конструкций, из-  
 делий и сооружений.

Цель изобретения является улучшение коррози-  
 онной стойкости цинкового сплава. Сплав на основе  
 цинка содержит, мас. %:

алюминий	- 5.0-55;
цирконий	- 0.01-0.5;
цинк	- остальное.

3

Изобретение относится к области металлургии, в частности к сплавам на основе цинка, предназначенным в качестве антикоррозионного покрытия для защиты от коррозии стальных конструкций, изделия Изобретение относится к области металлургии, в частности к сплавам на основе цинка, предназначенным в качестве антикоррозионного покрытия для защиты от коррозии стальных конструкций, изделий и сооружений.

Известен сплав на основе цинка, содержащего алюминий 5,0-55%; эрбия 0,005-0,3%; цинк – остальное [1].

Прототипом данного изобретения является сплав на основе цинка следующего химического состава: 5-55% алюминия; 0,1-0,5% стронций или барий; остальное-цинк [2]. Однако покрытия из известных сплавов не обеспечивают стабильной защиты стальных конструкций, изделий и сооружений от коррозии, так как имеют более низкую устойчивость к коррозионным воздействиям. Особенно низкие противокоррозионные свойства указанных сплавов проявляется в хлоридсодержащих средах, типа морской среды.

Скорость коррозии известных сплавов в два раза выше, чем у заявляемого сплава и потому и не обеспечивают должной защиты от коррозии стальных конструкций и изделий.

Цель изобретения — это улучшение коррозионной стойкости цинкового сплава-содержащего 5,0-55 мас. % алюминия путём легирования цирконием в количестве 0,01-0,5 мас%. Сплав на основе цинка содержит, мас. %: алюминий 5.0-55; цирконий 0.01-0.5; цинк -остальное. Скорость коррозии заявляемого сплава 0,19-0,39 г/м<sup>2</sup>·ч.

Сравнение данных таблицы 1 свидетельствует о преимуществе заявляемого сплава перед известным по патенту [2].

На основе сплавов цинка с алюминием (Zn5Al, Zn55Al) с оптимальным содержанием легирующего

1300

4

компонента (0,01-0,5 мас.% циркония) получают покрытия стойкие к любым атмосферам и против газовой коррозии, что объясняется быстрым заполнением пор продуктами коррозии цинка.

Изобретение иллюстрируются следующими примерами.

Для получения сплавов использовали цинк марки Ц1 (ГОСТ 3640-94), алюминий марки А7 (99,7%Al). Сплавы, составы которых приведены в таблице 1, сплавляют при 750-800°С в печах сопротивления. Расплав перемешивают, снимают шлак, вводят расчетное количество циркония (лигатура алюминия с 2% цирконием) и отбирают пробу для химического анализа, исследования коррозионных и электрохимических свойств. Образцы для исследования коррозионно-электрохимических свойств имели цилиндрическую форму, диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Исследования проводили в растворе электролита 3,0 %-ного NaCl, потенциостатическим методом на потенциостате ПИ-50.1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/сек с выходом на программатор ПР-8 и самописцем ЛКД-4. В качестве вспомогательного-электрода использовали платиновый электрод. Потенциодинамические кривые снимали следующим образом: от стационарного потенциала после выдержки электрода в растворе 1 час, шли в анодную область до значения тока – 2мА, затем обратным ходом достигали потенциала коррозии, после чего заходили в глубоко катодную область до значения потенциала E = -1,6 В, и обратным ходом до значения тока, равного нулю, далее снимали ход анодной кривой до значения тока 2мА. Анодные кривые обрабатывались. Рассчитанные из катодных ветвей кривых значения скорости коррозии сплавов обобщены в таблице 1. Видно, что по коррозионной устойчивости заявляемый цинково-алюминиевый сплав, содержащий цирконий превосходит известный цинково-алюминиевый сплав с барием [2].

Таблица 1

Коррозионно-электрохимические характеристики цинково – алюминиевых сплавов, легированных цирконием, в среде электролита 3,0 %-ного NaCl

Предлагаемый сплав содержащий, мас.%	Содержание циркония в сплаве, мас.%	Скорость коррозии	
		$i_{кор.} \cdot 10^2, \text{ A/m}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$
5% алюминия; 0,01 – 0,5% циркония; цинк - остальное	-	0,110	1,34
	0,01 Zr	0,032	0,39
	0,1 Zr	0,023	0,28
	0,5 Zr	0,018	0,22
55% алюминия; 0,01 – 0,5% циркония; цинк - остальное	-	0,038	0,29
	0,01 Zr	0,032	0,25
	0,1 Zr	0,026	0,20
	0,5 Zr	0,025	0,19
Известный сплав состава 5% Al; Zn-остальное, легированный барием по патенту ТЖ № 276	-	0,110	1,34
	0,05 Ba	0,055	0,67
	0,1 Ba	0,058	0,70
	0,3 Ba	0,062	0,75

Изучение кинетики процесса окисления цинково – алюминиевых сплавов проводилось методом термогравиметрии с использованием специальной установки. Кинетику окисления сплавов Zn5Al и Zn55Al с цирконием, в твердом состоянии исследовали при температуре 523К (табл. 2). Скорость окисления для исходного цинково-алюминиевого сплава Zn5Al составляет  $2,10 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> при 523 К, а для сплава с 0,5 мас.% цирконием равняется  $1,17 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> при этом энергия активации окисления для исходного сплава составляет 128,84 кДж/моль, а для сплава с 0,5 мас.% цирконием 208,26 кДж/моль (таблица 2).

На основании проведенных исследований кинетики окисления цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al с цирконием, в твердом состоянии установлены, что окисления сплавов подчиняется

гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. При окислении сплавов Zn5Al и Zn55Al соответственно с увеличением температуры отмечается плавное увеличение скорости окисления, а с увеличением количества добавки скорость окисления уменьшается.

Таким образом, легирование цирконием исходных сплавов Zn5Al и Zn55Al уменьшает их окисляемость. Уменьшение скорости окисления сопровождается соответствующим увеличением величины кажущейся энергии активации во всех случаях. Видно, что по устойчивости к окислению заявляемый цинк-алюминиевый сплав, содержащий цирконий превосходит в 2 раза известный цинково-алюминиевый сплав с барием [2].

Таблица 2

Жаростойкость и твердость цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных цирконием, в твердом состоянии

Предлагаемый сплав содержащий, мас.%	Содержание циркония в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$ , кг·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	Кажущаяся энергия активации окисления, кДж/моль	Твердость сплавов НВ, МПа
5% алюминия; 0,01 – 0,5% циркония; цинк - остальное	-	523К	2,10	128,84	454
	0,01 Zr	523К	1,99	135,88	582
	0,5 Zr	523К	1,19	187,84	772
55% алюминия; 0,01 – 0,5% циркония; цинк - остальное	-	523К	2,13	154,51	392
	0,01 Zr	523К	1,84	160,06	491
	0,5 Zr	523К	1,17	208,26	637
Известный сплав состава 5% Al; Zn-остальное, легированный барием по патенту TJ № 276	-	573К	2,30	140,24	370
	0,05 Ba	573К	2,50	91,95	570
	0,3 Ba	573К	4,05	28,18	760

Выбор циркония в качестве легирующего компонента цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al объясняется их положительным влиянием на физико-химические и механические свойства цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al (табл.2).

Добавки циркония (0,01...0,5 мас%) оказывают модифицирующее влияние на структуру исходных сплавов, то есть с ростом содержания циркония наблюдается уменьшение размера зёрен твердых

растворов цинка в алюминии ( $\alpha$ -Al) и алюминия в цинке ( $\gamma$ -Zn) и их глобуляризации.

Малые добавки циркония (0,01...0,05 мас. %), играя роль модификатора структуры, значительно глобуляризуют и измельчают структуру исходных цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al, что приводит к улучшению их коррозионной стойкости. Большие добавки циркония (0,1-0,5 мас. %) являются нежелательными, так как огрубляют микроструктуру исходных цинково-алюминиевого сплава Zn5Al,

также при этом кристаллизуется из расплава интерметаллическая фаза неизвестного состава в виде крупных игольчатых выделений (Фиг. 1 и 2).

Заявляемый сплав имеет скорость коррозии в 2-3 раза меньше, чем у известного сплава. Снижение скорости коррозии на 50% позволяет сэкономить расход сплавного защитного покрытия также на 50%. При стоимости 1 тонны цинка 4000 \$ США и 50% экономии металла экономический эффект от его использования составляет  $4000 \$ \cdot 50\% = 2000 \$$ . При расходе 1000 тонны сплава экономия равно:  $1000 \text{ тн} \cdot 2000 \$ = 2000 \text{ 000 } \$ \text{ США}$ .

**Пример расчета состава шихты для получения 1 кг сплава Zn5Al с цирконием, мас. %:**

1000гр  $\longrightarrow$  100%

X  $\longrightarrow$  0,5%

$X = 1000 \cdot 0,5 / 100 = 5 \text{ гр}$

Zn - 945,25 гр.

Al - 49,75 гр.

Zr - 5 гр.

$945,25 + 49,75 + 5 = 1000 \text{ гр.} = 1 \text{ кг шихты.}$

**Пример расчета на 100 гр. сплава Zn5Al:**

100 гр.  $\longrightarrow$  0,5 гр. Zr

100 гр. - 0,5 гр. = 99,5 гр. Zn5Al

100 гр.  $\longrightarrow$  5 гр. Al

99,5 гр.  $\longrightarrow$  X

$X = 99,5 \cdot 5 / 100 = 4,975 \text{ Al}$

100 гр.  $\longrightarrow$  95 гр. Zn

99,5 гр.  $\longrightarrow$  X

$X = 99,5 \cdot 95 / 100 = 94,525 \text{ гр. Zn}$

Таблица 3

Zn5Al (2% Zr)		
мас.%	Al + Zr, (гр.)= Лигатура Al + Zr	Zn, (гр.)
0,01	$4,9995 + 0,01 = 5,0095$	94,9905
0,1	$4,995 + 0,1 = 5,095$	94,905
0,5	$4,975 + 0,5 = 5,475$	94,525

**Пример расчета состава шихты для получения 1 кг сплава Zn55Al с цирконием, мас. %:**

1000гр  $\longrightarrow$  100%

X  $\longrightarrow$  0,5%

$X = 1000 \cdot 0,5 / 100 = 5 \text{ гр}$

Zn - 447,75 гр.

Al - 547,25 гр.

Zr - 5 гр.

$447,75 + 547,25 + 5 = 1000 \text{ гр.} = 1 \text{ кг шихты.}$

**Пример расчета для получения 100 гр. сплава Zn55Al:**

100 гр.  $\longrightarrow$  0,5 гр. Zr

100 гр. - 0,5 гр. = 99,5 гр. Zn55Al

100 гр.  $\longrightarrow$  55 гр. Al

99,5 гр.  $\longrightarrow$  X

$X = 99,5 \cdot 55 / 100 = 54,725 \text{ гр. Al}$

100 гр.  $\longrightarrow$  45 гр. Zn

99,5 гр.  $\longrightarrow$  X

$X = 99,5 \cdot 45 / 100 = 44,775 \text{ Zn}$

Таблица 4

Zn55Al (2% Zr)		
мас.%	Al + Zr, (гр.)= Лигатура (Al + Zr)	Zn, (гр.)
0,01	$54,9945 + 0,01 = 55,0045$	44,9955
0,1	$54,945 + 0,1 = 55,045$	44,955
0,5	$54,725 + 0,5 = 55,225$	44,775

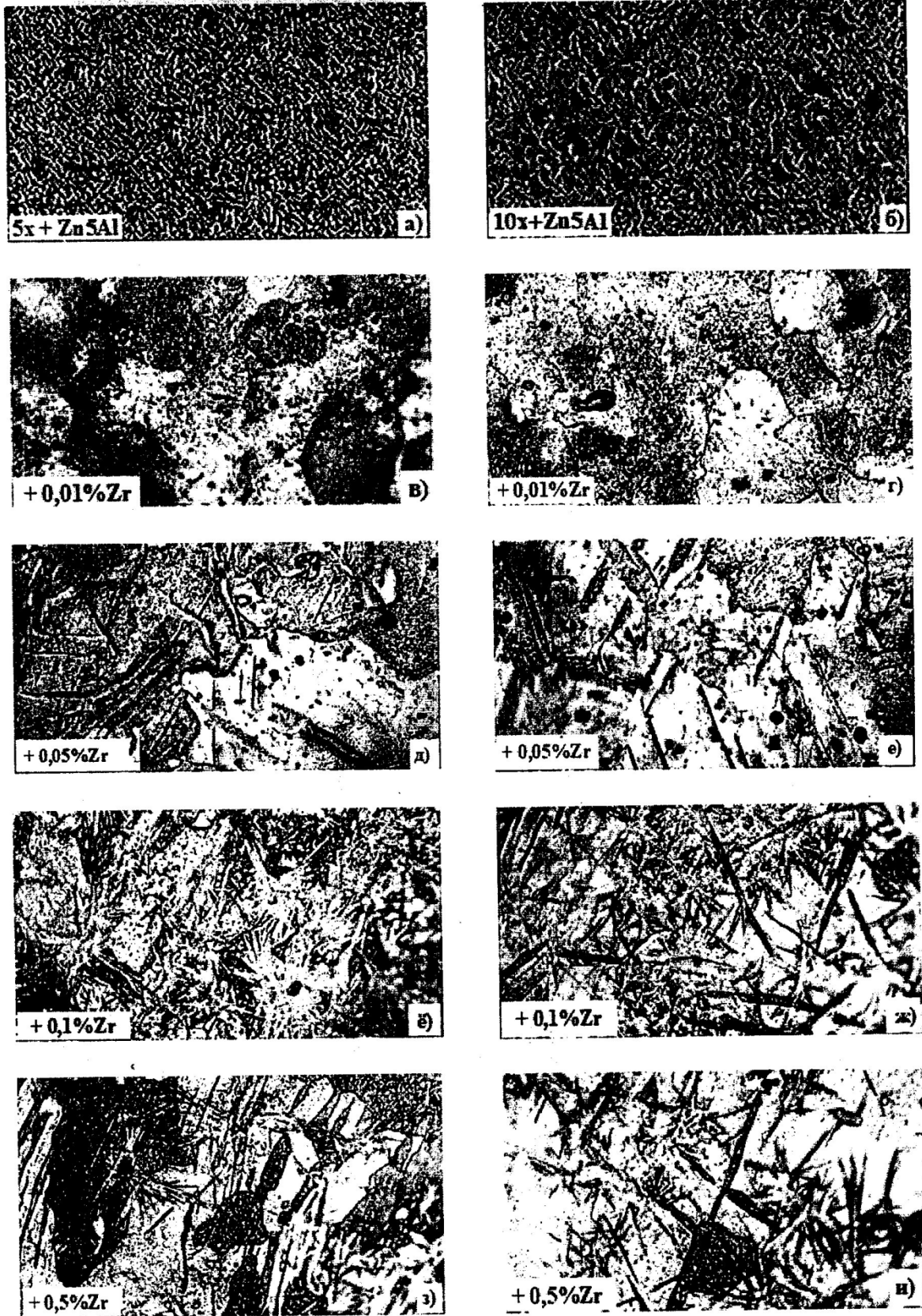
#### Формула изобретения

Цинковый сплав, содержащий алюминий, отличающийся тем, что дополнительно содержит цирконий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

алюминий  
цирконий  
цинк

- 5,0-55,0  
- 0,01-0,5  
- остальное

## ЦИНКОВО-АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ



Фиг. 1



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ГУВОҲНОМА

Шаҳрванд Аминов Ф.М.

муаллифи ихтирои *Хулаи рӯҳ-аломиний*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 920 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Донишгоҳи техникии Тоҷикистон  
ба номи академик М.С. Осимӣ

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Ғаниев И.Н., Одиназода Ҳ.О., Алиев Ҷ.Н.,  
Нарзуллоев З.Ф., Саидзода Р.Ҳ., Гулов С.С.

Аввалияти ихтироъ 30.04.2018

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 30.04.2018

Аризаи № 1801198

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

27 июли с.2018 ба кайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 30 апрели с. 2018 то 30 апрели с.2028

Ин гувоҳнома хангоми амалӣ гардонидани ҳукуку  
имтиёзҳое, ки барои муаллифони ихтироот бо қонунгузории  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Ҷ. Ҷумъахонзода







Республика Таджикистан

(19) TJ (11) 920  
 (51) МПК C22C18/00;  
C22C18/04

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ  
 ВЕДОМСТВО

## (12) Описание изобретения

### К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

(21) 1801198

(22) 30.04.2018

(46) Бюл.138, 2018

(71) Таджикский технический университет имени М.С. Осими (ТJ).

(72) Ганиев И.Н.(ТJ); Одиназода Х.О.(ТJ), Алиев Дж.Н.(ТJ); Нарзуллоев З.Ф.(ТJ); Аминов Ф.М. (ТJ); Саидзода Р.Х.(ТJ); Гулов С.С.(ТJ).

(73) Таджикский технический университет имени М.С. Осими (ТJ).

(54) **Цинк – алюминиевый сплав.**

(56) 1. Ганиев И.Н., Алиев Дж.Н., Обидов З.Р., Ганиева Н.И. Цинк-алюминиевый сплав. Малый патент № TJ 276 от 19. 05. 2009г.

2. Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Амонова А.В., Сафаров А., Джураева М. Цинк-алюминиевый сплав. Малый патент № TJ 422 от 09. 02. 2011г.

(57) Изобретение относится к области металлургии, в частности к цинк – алюминиевым

сплавам с содержанием алюминия 5–55 мас.%, предназначенных в качестве антикоррозионного покрытия для защиты стальных сооружений от коррозии.

Цель изобретения является улучшение коррозионной стойкости сплава на основе цинка с алюминием, что достигается дополнительным введением в нём железа. Сплав на основе цинка содержит, мас. %:

Al 5.0-55.0;

Fe 0.1-0.5;

Zn – остальное.

Скорость коррозии заявляемого сплава составляет 0.52-0.132 г/м<sup>2</sup>·ч.

Цинк - алюминиевый сплав с содержанием легирующего компонента (0.1 мас.% железо) позволяет получить покрытия стойкие к агрессивным атмосферам, а также против газовой коррозии, что объясняется быстрым заполнением пор продуктами коррозии цинка.

Изобретение относится к сплавам на основе цинка, предназначенным в качестве антикоррозионного покрытия для защиты от коррозии стальных конструкций, изделий и сооружений.

Известен сплав на основе цинка, содержащего алюминий 5,0-55%; стронций или барий 0,005-0,3%; цинк – остальное [1].

Прототипом изобретения является сплав на основе цинка следующего химического состава: 5-55% алюминия; 0,1-0,5% эрбия; остальное-цинк [2]. Однако покрытия из известных сплавов не обеспечивают стабильной защиты стальных конструкций, изделий и сооружений от коррозии, так как имеют более низкую устойчивость к коррозионным воздействиям. Особенно низкие противокоррозионные свойства указанных сплавов проявляется в хлоридсодержащих средах, типа морской среды.

Скорость коррозии известных сплавов в два раза выше чем у заявляемого сплава и потому не обеспечивают длительную эксплуатацию стальных конструкций.

Цель изобретения является улучшение коррозионной стойкости сплава на основе цинка с алюминием, что достигается дополнительным введением в нём железа. Сплав на основе цинка содержит, мас.%: алюминий 5.0-55.0; железо 0.1-0.5; цинк – остальное. Скорость коррозии заявляемого сплава составляет 0.52-0.132 г/м<sup>2</sup>·ч.

Таблица 1

Скорость коррозии заявляемого цинк – алюминиевого сплава с железом, в среде электролита 3%-ного NaCl

Химический состав аявляемого сплава, мас.%; Zn - остальное		Электрохимические свойства		Скорость коррозии	
		E <sub>св.корр.</sub>	E <sub>по.</sub>	i <sub>корр.</sub> ·10 <sup>-2</sup>	K·10 <sup>-3</sup>
Алюминий	Железо	В	В	А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> ·ч
5	0.1	0.796	1.086	0.043	0.52
5	0.5	0.786	1.080	0.039	0.47
55	0.1	0.775	0.990	0.017	0.132
55	0.5	0.770	0.986	0.016	0.124

Таблица 2

Скорость коррозии цинк – алюминиевого сплава с эрбием, в среде электролита 3%-ного NaCl

Химический состав известного сплава, мас.%; Zn - остальное		Электрохимические свойства		Скорость коррозии	
		E <sub>св.корр.</sub>	E <sub>по.</sub>	i <sub>корр.</sub> ·10 <sup>-2</sup>	K·10 <sup>-3</sup>
Алюминий	Эрбий	В	В	А/м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup> ·ч
5	0.1	1.064	0.945	0.064	0.78
5	0.5	1.107	0.970	0.072	0.90
55	0.1	1.008	0.870	0.028	0.205
55	0.5	1.025	0.905	0.030	0.220

Сравнение данных таблиц 1 и 2 свидетельствуют о преимуществе заявляемого сплава перед известным [2].

Сплавы цинка с алюминием (Zn5Al, Zn55Al) с оптимальным содержанием легирующего компонента (0.1 мас.% железа) позволяют получить покрытия стойкие к агрессивным атмосферам, а также против газовой коррозии, что объясняется быстрым заполнением пор продуктами коррозии цинка.

Изобретение иллюстрируются следующими примерами.

Для получения сплавов использовали цинк марки Ц1 (ГОСТ 3640-94), алюминий марки А7 (99.7%Al).

Сплавы составы которых приведены в таблице 1, сплавляют при 750-800°С в печах сопротивления или вакуумной печи. Расплав перемешивают, снимают шлак, вводят расчетное количество железа (лигатура алюминия с 2.18% железом) и отбирают пробу для химического анализа, исследования коррозионных и электрохимических свойств. Образцы для исследования коррозионно-электрохимических свойств имели цилиндрическую форму, диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Исследования проводили в растворе электролита 3%-ного NaCl, потенциостатическим методом на потенциостате ПИ-50.1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/сек с выходом на программатор ПР-8 и самописец ЛКД-4. В качестве вспомогательного-электрода использовали платиновый электрод. Потенциодинамические кривые снимали следующим образом: от стационарного потенциала после выдержки электрода в растворе 1 час, шли в анодную область до значения тока – 5мА, затем обратным ходом достигали потенциала коррозии, после чего заходили в глубоку катодную область до значения потенциала E = -1.6 В, и обратным ходом до значения тока, равного нулю, далее снимали ход анодной кривой до значения тока 5мА. Анодные кривые обрабатывались. Рассчитанные из катодных ветвей кривых значения скорости коррозии сплавов обобщены в таблицах 1 и 2. Видно, что по коррозионной устойчивости заявляемый цинк-алюминиевый сплав, содержащий железо превосходит известный цинк-алюминиевый сплав с эрбием [2].

Пример расчёта состава шихты для получения 1 кг сплава Zn55Al, мас.% :

Al – 320 гр.

Лигатура состава Al +2,18% Fe – 230 гр.

Zn – 450 гр.

**Пример расчёта на 100 гр. сплава Zn55Al.**

100 гр.                   → 2,18 гр.

X                         → 0.5 гр.

X = 100x0.5/2.18 = 22.94.

55 гр. Al+22,94 гр.

Лигатура (Al +2,18%Fe) = 77,94 гр.

Для получения 100 гр. сплава

K = 55/77,94 = 0,7057

55x0.7057 = 38.81 гр. чистого алюминия.

22.94x0.7057 = 16.19 гр. лигатуры.

Zn55Al (2,18%Fe)

Таблица 3.

мас.%	Al+Лигатура(Al+2,18%Fe) ( гр.)	Zn, (гр.)
0,1	50,76 + 4,24 = 55	45
0,5	38,81 + 16,19 = 55	45

Пример расчёта на 100 гр. сплава Zn5Al

100 гр.     → 2,18 гр.  
X           → 0.5 гр.

$$X = 100 \times 0.5 / 2.18 = 22.94$$

$$5 \text{ гр. Al} + 22,94 \text{ гр.} = 27,94$$

$$\text{Лигатура (Al + 2,18\%Fe)} = 27,94 \text{ гр.}$$

Для получения 100 гр. сплава  $K = 5/27,94 = 0,179$

$5 \times 0.179 = 0,89$  гр. чистого алюминия.

$$22.94 \times 0.179 = 4,11 \text{ гр. лигатуры.}$$

Таблица 4.

Zn5Al (2,18%Fe)

мас.%	Al+Лигатура(Al+2,18%Fe) ( гр.)	Zn, (гр.)
0,1	2,61 + 2,39 = 5	95
0,5	0,89 + 4,1 = 5	95

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Сплав, содержащий цинк и алюминий, отличающийся тем, что дополнительно содержит железо при следующем соотношении компонентов, мас. %:

алюминий	–	5.0-55.0
железо	–	0.1-0.5
цинк	–	остальное

Компьютерный набор: Фатхуллаева М.С.

Заказ	Тираж	Подписное
Национальный патентно-информационный центр РТ734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а		