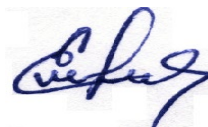


АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН  
МДИ «ИНСТИТУТИ КИМИЁИ БА НОМИ В.И. НИКИТИН»  
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ДАНҒАРА

ВБД 669.017.162.3+669.771+669.831.66973+75

ББК 34.303.1

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКАВӢ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАИ НОҚИЛИИ  
АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей») БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА  
СУРМА

ДИССЕРТАТСИЯИ

ХОЛОВ Ёрмаҳмад Чомаҳмадович

Аз рӯйи ихтисоси

05.02.01 – Маводшиносӣ (02.05.01.02 – саноати мошинсозӣ)

барои дарёфти дараҷаи илмии  
номзади илмҳои техникӣ

**Роҳбари илмӣ:**

доктори илмҳои химия, академики  
АМИ Тоҷикистон, профессор,  
Ғаниев Изатулло Наврузович

Душанбе – 2024

## МУНДАРИҶА

<b>МУҚАДДИМА</b> .....	4
<b>БОБИ 1. ХУСУСИЯТҲОИ ХҶЛА ҲОСИЛШАВӢ ВА ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ ХҶЛАҲОИ АЛЮМИНИЙ БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА (Шарҳи адабиёт)</b> .....	10
1.1. Алюминий ва хӯлаҳои он ҳамчун маводи ноқилӣ.....	10
1.2. Гармиғунҷоиши алюминий, калсий, кадмий ва сурма .....	14
1.3. Хусусиятҳои оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма .....	25
1.4. Рафтори анодии хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма ....	43
1.5. Хулосаи оид ба боби 1 ва гузоштани масъала .....	56
<b>БОБИ 2. ОМУЗИШИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ ВА ФИЗИКАВИ-ХИМИЯВИИ ХҶЛАИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДА ШУДААНД</b> .....	57
2.1. Нақшаи дастгоҳ ва усули ҷенкунии гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт ..	57
2.2. Хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда ..	59
2.3. Хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий .....	68
2.4. Таъсири иловаҳои сурма ба хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии ноқили алюминийи хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»).....	74
2.5. Таҳқиқоти микроструктурӣ ва хосиятҳои механикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма.....	81
2.6. Хулосаи оид ба боби 2.....	88
<b>БОБИ 3. ТАДҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДАШУДА</b> .....	92
3.1. Таҷҳизот ва усули таҳқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо.....	92
3.2. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда.....	93

3.3. Таъсири кадмий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар ҳолати сахтӣ.....	102
3.4. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронида дар ҳолати сахтӣ .....	111
3.5. Хулоса оид ба боби 3.....	120
<b>БОБИ 4. РАФТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҲАРОНИДАШУДА ДАР МУҲИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl.....</b>	<b>123</b>
4.1. Усули таҳқиқоти хосиятҳои зангзани–электрохимиявии хӯлаҳо ....	123
4.2. Таъсири иловаи калсий ба рафтори анодӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролити NaCl .....	125
4.3. Рафтори анодии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий ҷавҳаронидашуда дар муҳити электролити NaCl .....	133
4.4. Таъсири иловаи сурма ба рафтори анодӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролити NaCl .....	141
4.5. Хулоса оид ба боби 4 .....	148
<b>ХУЛОСАҶО.....</b>	<b>152</b>
<b>РҶЙҲАТИ АДАБИЁТҶО .....</b>	<b>155</b>
<b>ЗАМИМА .....</b>	<b>172</b>

## МУҚАДДИМА

*Мубрамияти кор.* Алюминий ва хӯлаҳои он дар электротехникаи муосир васеъ истифода мешаванд. Ин факт аз бисёр ҷиҳат бо арзиши ҳуди металл ва характеристикаҳои техникаи он асоснок карда мешавад. Ҳангоми сохтани маводҳои наво, ки барои кор дар шароити махсусан вазнин пешбинӣ шудаанд, вазифаи ба онҳо додани устувори ба зангзанӣ ба миён меояд, ки ҳалли амалии он бо сатҳи дониш дар соҳаи материалшиносии хӯлаҳои алюминий алоқаманд аст. Барои беҳтар кардани баъзе хусусиятҳои алюминий, иловаҳои гуногун, ҳамчун элементҳои ҷавҳаронида истифода мешаванд.

Дар соли 1928 хӯлаи «алдрей» коркард карда шуд, ки ҳадафи асосии он ин истеҳсоли симҳо барои хатҳои интиқоли барқ мебошад. Коркарди ҳароратии он аз он иборат аст, ки маҳсулоти таёр кардаи прессшуда ё ҳамворшуда дар 510-550 °С дар об обутоб дода мешавад ва сипас кашида мешавад ва дар ҳарорати 140-180 ° С ба пиршавии сунъӣ дучор карда мешавад. Мустаҳкамии баланди ноқилҳои аз «алдрей», имкон медиҳанд, ки андозаи фосилаҳои хатҳои ҳавоии интиқоли электрӣ зиёд карда шавад. Сахтии баланди «алдрей» сабабгори кам вароншавии миқдори ноқилҳо ҳангоми васлкуни мегардад. «Алдрей» нисбат ба алюминий хеле беҳтар ба ҷараёнҳои расиши кӯтоҳ тобовар аст. Саршавии талафоти мустаҳками дар сими аз «алдрей», тақрибан дар ҳароратҳои 180-200°С меҳобад. Ҳудуди аз ларзиш фарсудашавии «алдрей» нисбат ба алюминий 1,5 маротиба зиёдтар аст. Аз рӯи муқовимат бо таъсири камон, ки ҳангоми расиши кӯтоҳ дар ноқиҳо пайдо мешавад, ноқили аз «алдрей» дар ҷойи дуҷум баъд аз мис ва хело устувортар нисбати ноқилҳо аз алюминий мебошад.

Аммо ҳангоми истифода бурдани хӯлаҳои ноқилӣ алюминий барои сохтани сими борик, масалан сими печдор ва ғайра, дар алоқаманди бо норасогии устуворӣ ва адади кам қадшавӣ мумкин душвори муайянро пайдо намояд. Дар кор масъалаҳои беҳтар намудани хосиятҳои

истиодабарӣ, яъне. устувори ба занганӣ ва оксидшавии хӯлаҳо, таҳқиқотҳои теплофизикӣ ва характеристикаи термодинамикии хӯлаи ноқили («алдрей») бо роҳи ҷавҳаронидани он бо калсий, кадмий ва сурма омӯхта шуданд. Мавзӯи кори диссертатсионии қисми таркибии лоиҳаи илмӣ «Қорқарди таркибҳои нави хӯлаҳои ноқилҳои алюминий ва додани тавсияҳо барои истифодабарии онҳо дар корхонаҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон» мебошад, ки аз ҷониби лабораторияи «Материалҳои ба занганӣ тобовар»-и муассисаи давлатии илмӣ «Институти химияи ба номи Никитин»-и АМИТ барои солҳои 2021-2025 таҳия кардааст мебошад.

### **ТАВСИФИ УМУМИИ ҚОР**

**Мақсади таҳқиқот** муқаррар намудани хосиятҳои термодинамикӣ, кинетикӣ ва анодии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда, барои эҳтиёҷоти саноати электротехникӣ пешбинӣ шудааст мебошад.

**Ҳадафҳои таҳқиқот:** Омӯзиши вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма;

- Омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма дар ҳолати сахт ва муайян кардани механизми раванди оксидшавии онҳо;

- Таҷрибавии муайян намудани таъсири калсий, кадмий ва сурма ба рафтори анодии хӯлаи ноқили E-AlMgSi («алдрей») дар муҳити электролити NaCl;

- Оптимизатсияи таркиби хӯлаҳои чоркомпонента дар асоси муқаррар кардани хосиятҳои физикию химиявии онҳо ва муайян кардани ҳудуди имконпазири истифодаи онҳо.

**Усулҳои таҳқиқоти илмӣ:** усули таҳқиқоти гармиғунҷоиши хӯлаҳо дар речаи «хунукшавӣ» бо истифодаи бақайдгирии автоматии ҳарорати намуна аз вақти хунуккунӣ; усули термогравиметрии таҳқиқоти

кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳолати сахт; усули электрохимиявӣ барои таҳқиқоти хосиятҳои анодии хӯлаҳо бо усули потенциостатикӣ дар потенциостати импульси ПИ – 50.1 - 1.

**Марҳилаҳои таҳқиқот** синтез ва сертификатсияи хӯлаҳои ноқилӣ нав дар асоси алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма, таҳқиқоти характеристикаҳои ҳароратӣ, теплофизикӣ, кинетикӣ ва анодии онҳоро дар бар мегиранд.

**Маълумоти асосӣ ва базаи таҷрибавӣ.** Таҳқиқоти таҷрибавӣ бо ёрии таҷҳизотҳои маълуми илмӣ иҷро карда шуданд: потенциостати импульси ПИ-50.1-1; тарозуи термогравиметрӣ; асбоб барои чен кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт дар речаи «хунукшавӣ». Қоркарди математикии натиҷаҳо бо истифода аз бастаи стандартии замимаҳо ва барномаҳои Microsoft Excel ва Sigma Plot гузаронида шуд.

**Эътимоднокии натиҷаҳои рисола.** Эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот бо истифода аз усулҳои муосири таҳқиқот дар асбобҳо ва дастгоҳҳои восанҷи модернизатсияшуда ва такмилёфта, такроршавандагии онҳо ва муқоисаи натиҷаҳо бо маълумоти муаллифони дигар таъмин карда мешавад.

#### **Навгониҳои илмӣ таҳқиқот.**

- асосии қонуниятҳои тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функцияҳои термодинамикии (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма вобаста аз ҳарорат ва миқдори кампанентҳои ҷавҳаронида муқаррар карда шуд. Нишон дода шуд, ки бо баланд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма зиёд шуда, энергияи Гиббс кам мешавад. Бо зиёд шудани таносуби калсий, кадмий ва сурма дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») энталпия ва энтропия кам шуда, энергияи Гиббс зиёд мешавад.

- Нишон дода шуд, ки бо баланд шудани ҳарорат суръати оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма дар ҳолати саҳт меафзояд. Константи суръати оксидшавӣ ба  $10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>с<sup>-1</sup> баробар аст. Муқаррар карда шуд, ки оксидшавии хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма ба қонуни гипербола иттиҷо мекунад.

- Бо истифода аз усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати гардиши потенциалии 2 мВ/с, муайян карда шуд, ки илова кардани компонентҳои ҷавҳаронида то 1,0 ваз.% устувори ба зангзании хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») ро 85-90% зиёд мекунад. Бинобар ин лағжиши потенциалҳои зангзанӣ, питтинҳосилшавӣ ва репассиватсияи хӯлаи ибтидоӣ ба минтақаи мусбат ба назар мерасад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан пастшавии суръати зангзанӣ мушоҳида мешавад (барои хӯлаҳои 1,0 ваз.% иловашуда).

**Аҳмияти назариявии таҳқиқот.** Дар диссертатсия ҷанбаҳои назариявии таҳқиқот пешниҳод карда шудааст: далели таъсири соҳтор, вобастагии ҳарорат гармиғунҷош ва тағйирёбии функцияҳои термодинамикӣ, аз рӯи қонуният тағйирёбии характеристикаҳои зангзани-электрохимиявӣ, кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма; таъсири муҳити зангзанӣ ва консентратсияҳои иловаҳои ҷавҳаронида ба устувори зангзанӣ ва оксидшавии хӯлаи алюминий E-AlMgSi («алдрей»).

**Аҳмияти амалии таҳқиқот.** Тадқиқотҳои гузаронидашуда имкон доданд, ки таркибҳои хӯлаҳои, ки бо пасттарин оксидшавӣ дар ҳарорати баланд ҳосанд ва консентратсияи оптималии иловаҳои ҷавҳаронида (калсий, кадмий ва сурма) барои баланд бардоштани устувори ба зангзании хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») муайян карда шаванд.

Дар маҷмӯъ, дар асоси таҳқиқотҳои гузаронидашуда таркибҳои алоҳидаи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий,

кадмий ва сурма бо патентҳои хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шуданд.

**Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшуда:**

- Натиҷаҳои таҳқиқотҳои вобастагии ҳароратии гармигунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма;

- Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма, ва инчунин механизми оксидшавии ҳӯлаҳо.

- Вобастагии характеристикаи анодӣ ва суръати зангзании ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма аз концентратсияҳои компонентҳо ҷавҳаронида дар муҳити электролити NaCl;

- Таркиби оптималии ҳӯлаҳо бо тафовути пасттарин оксидшавӣ ва баланд бардоштани устувори ба зангзанӣ, ки ҳамчун маводи ноқилӣ барои истеҳсоли хатҳои интиқоли барқ.

**Саҳми шахсии муаллиф дар таҳлили маълумотҳои адабиётҳо, таҳия ва ҳалли масъалаҳои таҳқиқот, омодагӣ ва гузаронидани таҳқиқотҳои таҷрибавӣ дар шароити лабораторӣ, таҳлили натиҷаҳои бадастомада, таҳияи муқаррароти асосӣ ва хулосаҳои рисола иборат мебошад.**

**Арзёбии рисола ва маълумот оид ба истифодаи натиҷаҳои он.** Муқаррароти асосии диссертация мудокима шуданд дар: Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои актуалии индустрикунонии Ҷумҳурии Тоҷикистон: мушкилот ва стратегияҳо». Қисми 1. ДТТ, ш. Душанбе, 2019с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Нақши ҳунарҳои мардумӣ дар рушд ва пойдории фарҳанги миллӣ бахшида ба эълони солҳои 2019-2021 рушди ҷӯб, сайёҳӣ ва ҳунарҳои мардумӣ», ДДОТ ба номи С.Айнӣ, ш. Душанбе, 2019с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Рушди инноватсионии илм», Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИТ», ш.



Душанбе, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои геологӣ ва маркшейдерӣ дар коркарди конҳои канданиҳои фойданок», бахшида ба «20-солагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ», Донишкадаи кӯҳӣ-металлургии Тоҷикистон, ш. Бӯстон, 2020с.; Конфронси байналмилалӣ илмӣ ва амалӣ «Рушди энергетика ва имкониятҳо», Институти энергетикӣ Тоҷикистон. Кушониён, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ бахшида ба бистсолагии омӯзиш ва рушди илмҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ, Донишгоҳи Русияву Тоҷикистон (славянӣ). ш. Душанбе, 2020с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ "Илмҳои бунёди - асоси тақмили технологияҳо ва маводҳо", МГИТ, Душанбе, 2021с.; Конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ «Проблемаҳои химияи муосир ва ҳолати дар раванди таълим чори намудани он». ДДД, Данғара, 2022с.

**Наشري натиҷаҳои рисола.** Аз рӯи натиҷаҳои таҳқиқот 18 мақолаҳои илмӣ ба таъб расидаанд, ки аз онҳо 7 мақола дар маҷаллаҳои тақризии, ки ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия додааст ва 11 мақола дар маводи конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмиллалӣ чоп шудаанд. Инчунин 1 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон гирифта шудааст.

**Ҳаҷм ва сохтори рисола.** Қори рисола аз муқаддима, чор боб ва замима иборат буда, дар 173 саҳифаи маҷмӯаи компютерӣ пешниҳод шудааст, ки 85 расм, 51 ҷадвал, 120 сарчашмаи адабиётҳоро дар бар мегирад.

# БОБИ 1. ХУСУСИЯТҲОИ ХҶЛА ҲОСИЛШАВӢ ВА ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ ХҶЛАҲОИ АЛЮМИНИЙ БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА (Шарҳи адабиёт)

## 1.1. Алюминий ва хҶлаҳои он ҳамчун маводи ноқилӣ

Алюминий дар тӯли солҳои зиёд ба сифати маводи ноқилӣ дар ҳамаи соҳаҳои саноат истифода мешавад. Инчунин илова ба алюминийи холис, баъзе хҶлаҳои он ноқилҳои аъло мебошанд, ки мустаҳкамии сохтори дошта бо пуррагӣ ҳамчун ноқил қобили қабуланд. Алюминийи барои электротехника дорои ноқилияти аз 55% то 61% мувофиқи Стандарти байналмилалии миси тафсоншуда (IACS) ва алюминийи тозаро дар бар мегирад. [1].

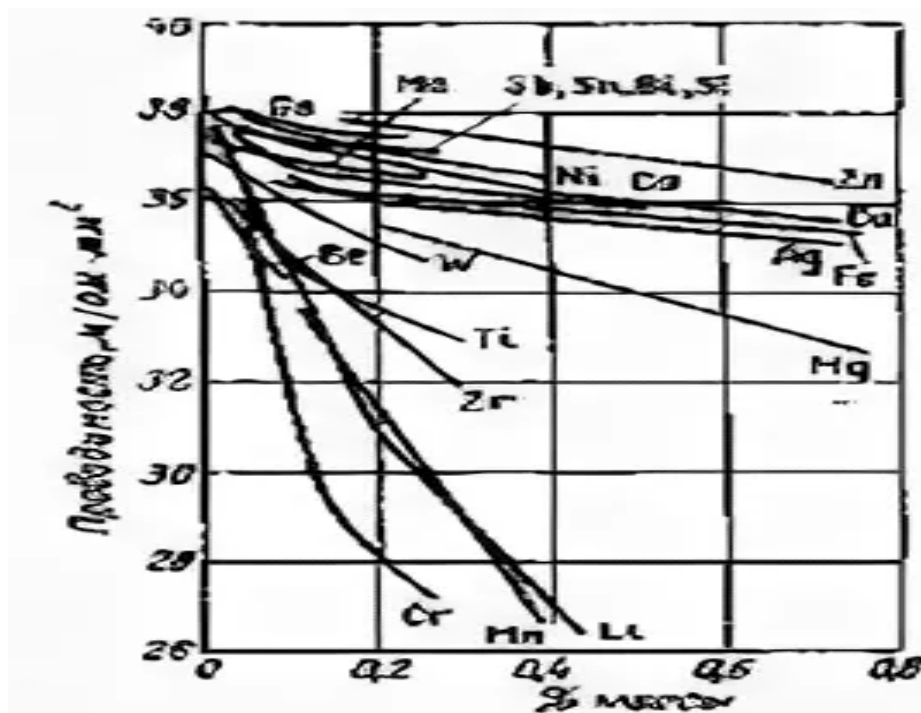
Дар маҷмуъ, дар як қатор мавридҳо дар электротехника истифодаи ноқилӣ алюминий бо сабаби мустаҳкамии механикии пасти он душвор буда, аксар вақт ғайри имконнопазир аст. Ноқили алюминийе, ки дар натиҷаи деформатсияи хунук саҳт шудааст, дар ҳарорати тақрибан 100°C мустаҳкамиашро гум мекунад [2].

Алюминий зичии тақрибан аз се як ҳиссаи пӯлод ё мисро дорад, ки он яке аз сабуктарин металлҳои тичоратӣ ва дастрас мебошад. Дар натиҷаи ҳосилкунии таносуби баланди мустаҳкамӣ ва вазн онро як маводи муҳими конструксионӣ, бо имконияти зиёд кардани сарбории фойданок ё сарфаи сӯзишворӣ, махсусан барои соҳаи нақлиёт мекунад. Ҳангоми тайёркунии хҶлаҳои ноқилӣ талаботҳои асосии зерин бояд риоя карда шаванд. Чунин элементҳои чавҳаронидаҳо (ё иловаҳо)-ро интиҳоб кардан лозим аст, ки дар баробари зиёдшавии хосиятҳои устуворӣ, муқовимати электрикии алюминийро каме зиёд кунанд [1,2]. Иловаҳои чавҳаронида бояд ҳарорати рекристаллизатсияшавии алюминий ва устувории онро бо таъсири ҳарорат зиёд кунанд. Воридкунии иловаҳои чавҳаронида бояд, барои беҳтар намудани хосиятҳои технологии он: қобилияти кафшеркунӣ, пайваस्तкунӣ ва ғайра равона карда шаванд.

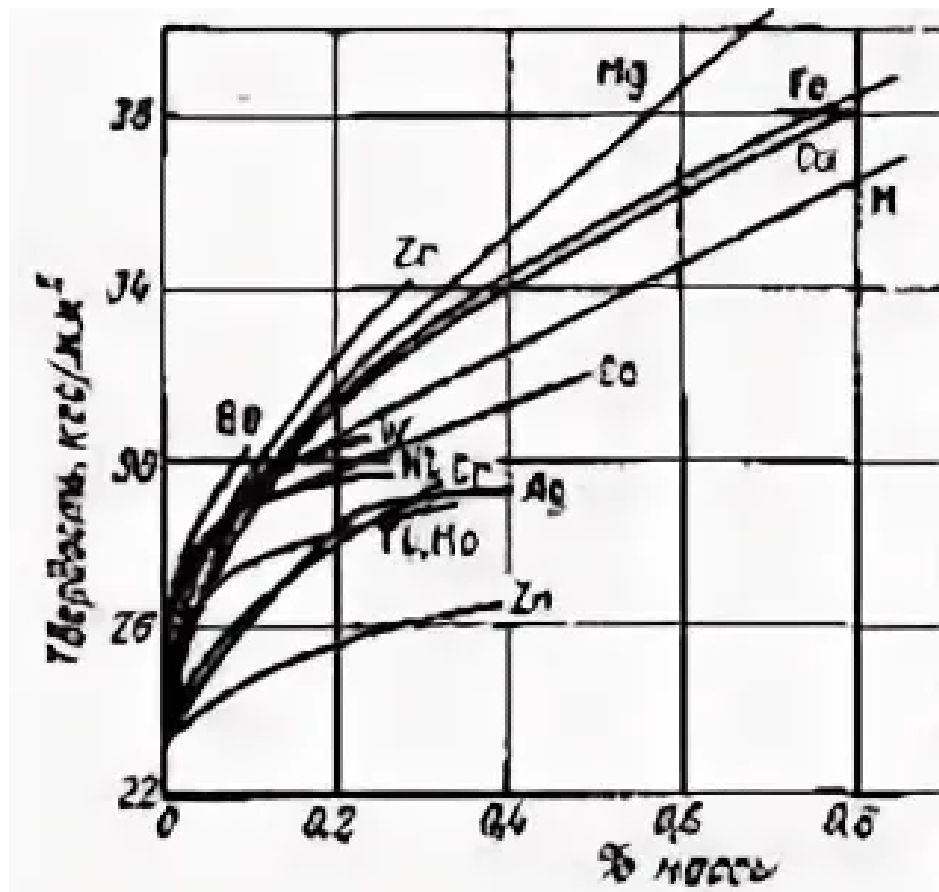
Барои қонеъ гардондани эҳтиёҷоти саноатӣ электротехника як катор хӯлаҳо бо якҷояшавии хосиятҳои гуногун мустаҳкамӣ, чандирӣ ва электрикгузаронӣ заруранд. Аз ин лиҳоз, суммаи иловаҳои ҷавҳаронида аҳмияти муайянкунанда доранд [2].

### Таъсири элементҳои ҷавҳаронида ба тағйирёбии хосиятҳои физико-механикии ноқили алюминий

Вазни ноқили алюминий нисбат ба эквиваленти ноқили миси ду баробар камтар аст. Ин афзалият алюминийро ба маводи беҳтарин барои ноқилҳои интиқоли ва тақсимоӣ табдил медиҳад. Дар мустаҳкамшавии маҳлули саҳти алюминий омилҳои асосӣ, дараҷа ва характери майлқунии панҷараҳои кристалии он ҳисобида мешаванд. Дараҷаи вайроншавии панҷараҳои кристаллӣ аз фарқияти диаметри атомии алюминий ва элементҳои ҷавҳаронида вобаста аст: ҳар қадар диаметри атомии элемент зиёдтар фарқ кунад, ҳамон қадар зиёдтар он панҷараи кристалии алюминийро вайрон мекунад [1, 2].



Расми 1.1 - Таъсири иловаҳои ҷавҳаронида ба тағйирёбии электргузаронии ноқилӣ алюминий [1]



Расми 1.2 - Таъсири иловаҳои чавҳаронида ба тағйирёбии саҳтии ноқилӣ алюминий [1]

Ҳангоми ба алюминий ворид кардани магний ва сирконий (дорои диаметри атомии калонтар) параметри панҷараҳои маҳлули саҳт зиёд мешаванд. Ҳангоми ворид кардани чунин иловаҳои чавҳаронида ба монанди рӯҳ, мис, силитсий манзараи баръакс мушоҳида мешавад. Мустаҳкамшавии маҳлули саҳт дар асоси алюминий низ аз ҳадди ҳалшавандагии элементҳои чавҳаронидашаванда вобаста аст; ҳадди ҳалшавандагӣ ҳар қадар зиёд бошад, саҳтшавӣ ҳамон қадар пуршиддат сурат меград. М.А. Захаров ва Т.Д. Лисовская таъсири элементҳои гуногуни чавҳаронидаро ба ноқилият ва устувории алюминий таҳқиқ намуда, нишон доданд, ки бештар зиёдшавии мустаҳкамӣ, ҳангоми ворид кардани элементҳои чавҳаронидашавандаи камҳалшаванда: оҳан, сирконий, марганес, хром, титан, калсий, магний мушоҳида мешавад. Ин элементҳо аз рӯи диаметри атомӣ аз алюминий ба таври назаррас фарқ мекунад. Ҳалшавандагии хуби рӯҳ ва нукра ба саҳтшавӣ таъсири

камтар мерасонанд, ки дар расми 1.2 нишон дода шудаанд. Азбаски параметри асосии маводи ноқил электргузарони мебошад, бояд элементҳои чавҳаронидаро бо назардошти таъсири онҳо ба тағйирёбии муқовимати электрикӣ интихоб кард [1, 2].

Хӯлаҳои алюминий дорои мустаҳкамии механикӣ зиёд мебошанд. Мисоли чунин хӯла («алдрей») аст, ки дорои 0,3-0,5% Mg, 0,4-0,7% Si ва 0,2-0,3% Fe (боқимонда Al) мебошад. Хосияти баланди механикӣ («алдрей») баъди коркарди махсус (обутобдиҳи фелонида — хунуккуни дар об дар ҳарорати 510—550°C, кашидан ва минбаъд нигоҳдори дар ҳарорати тақрибан 150°C) бадаст оварда мешавад. Дар («алдрей») пайвастигии  $Mg_2Si$  ҳосил мешавад, ки ба хӯла хосиятҳои баланди механикӣ мебахшад; ҳангоми коркард бо гармиҳои дар боло зикршуда ҷудошави пайвастигии  $Mg_2Si$  аз маҳлули саҳт ба даст омада, ба ҳолати тунуки дисперсӣ мегузарад [3, 4].

Ноқили пӯлодию-алюминий, ки дар хатҳои интиқоли барқ ба таври васеъ истифода мешавад, аз дилаки сими пӯлодӣ ва аз берун бо сими алюминий печонидашуда иборат мебошад. Дар ин намуд ноқилҳо мустаҳкамии механикиро асосан дилаки пӯлодӣ ва электрогузаронро алюминий муайян мекунад. Зиёдшавии диаметри берунии сими пӯлодию-алюминий нисбат ба мис дар хатҳои баландшиддати интиқоли барқ бартарӣ дорад, зеро хавфи сар задани тоҷро аз ҳисоби кам шудани шаддидяти майдони электрикӣ дар рӯи ноқил паст мекунад. Алюминий нисбат ба мис 3,3 маротиба сабуктар буда, гузарониши нисбатан баланд дорад (барои Al = 0,028 мкОм.м) ва аз ҳисоби пардаи муҳофизатии оксиди  $Al_2O_3$  ба зангзании атмосферӣ тобовар аст. Алюминий нарм буда, дорои мустаҳками ба кандашавӣ 80, саҳтӣ 160-170 Мпа мебошад. Дар муқоиса нисбат ба мис коэффисиенти ҳарорати васеъшавии хаттӣ (26,10-61/°C) баландтарро доро аст, ки ин камбудӣ мебошад [3-5]. Дар нуқтаҳои пайвасти ноқили алюминий бо дигар металлҳо дар муҳити намнок ҷуфти галванӣ пайдо мешавад, бинобар ин сими алюминийе, ки бо лакҳо ва ё

бо роҳҳои дигар ҳифз нашудааст, зангзада вайрон мешавад. Аз алюминийи тозагиаш махсус бо таркиби ғашҳои на зиёда аз 0,005% электродҳои конденсаторҳои алюминийӣ ва фолгаи алюминийӣ таёр карда мешаванд. Аз алюминии дар таркибаш на зиёда аз 0,3 — 0,5 % ғашҳо (намудҳои А7Е ва А5Е) сим ва шина тайёр мекунанд. Барои торҳои кабелӣ истифодаи алюминийи ба миқдори камшаби ғашҳо - тамғаҳои А75К, А8К, А8КУ мумкин аст. Ноқилҳои алюминийгиро бо ҳам бо роҳи кафшери хунук ё гарм, инчунин бо ёрии истифодаи флюсҳо ва припойҳои махсус пайваст кардан мумкин аст [6,7].

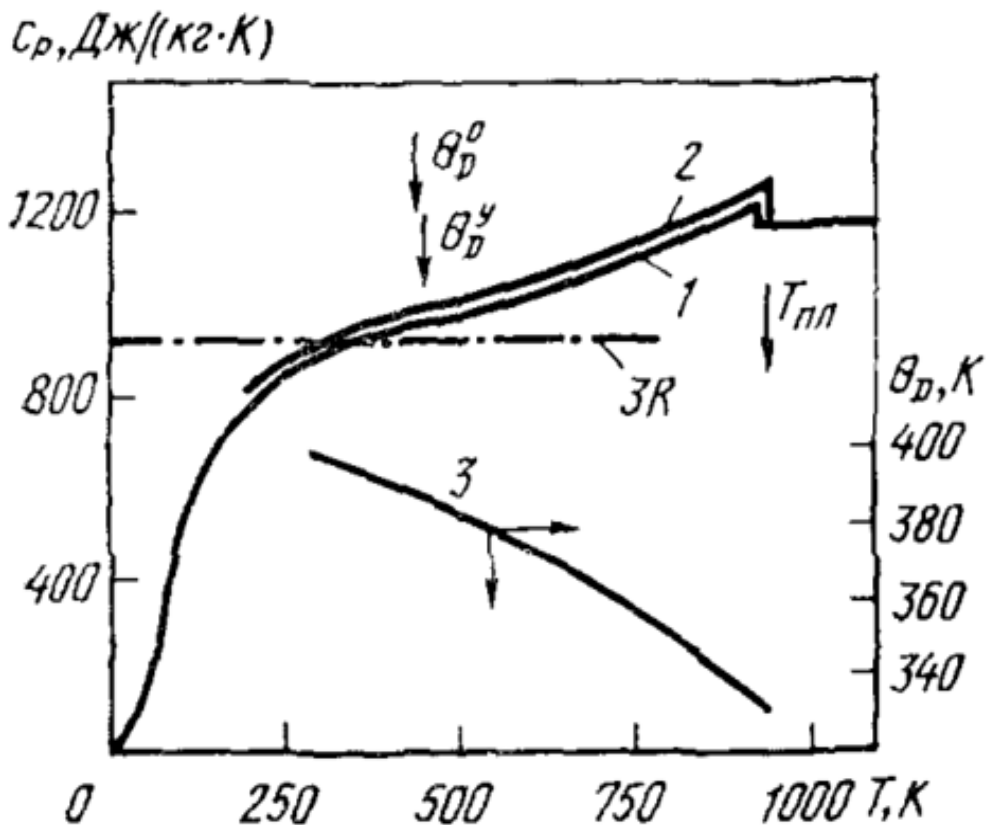
## 1.2. Гармиғунҷоиши алюминий, калсий, кадмий ва сурма

*Гармиғунҷоиши алюминий.* Гармигузарони ин ченаки чӣ қадар самаранок мавод гармиро мегузаронад мебошад. Алюминий дорои гармигузаронии баланд мебошад, ин маънои онро дорад, ки вай гузаронандаи хуби гармӣ аст. Фақат ин танҳо вақте амалӣ мегардад, ки алюминий бо ашёи гарми дигар дар тамос бошад. Ҳангоми истифода ба сифати изолятори инъикоскунанда, он мумкин пешгирӣ кунандаи интиқоли гармӣ бошад [8,9].

Мувофиқи таҳқиқотҳои дар [8] оварда шуда, алюминий дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати гӯдохташавӣ 933,61 К дорои панҷараи кристалии грансентри (г.ц.к.) буда, даври он дар ҳарорати 298 К 0,40496нм аст [9]. Муаллифони кори [9] инчунин вобастагии коэффисиенти хатти васеъшавии алюминийро (ТКЛР) аз ҳарорат таҳқиқ намуда, нишон доданд, ки ин вобастагӣ барои металлҳо бо коэффисиенти хаттиашон баланд, нисбат барои металлҳои бо коэффисиенти хаттиашон паст, камтар аст, аммо барои ин металлҳо зиёдшавии хаттии сусти назарногир мушоҳида карда мешавад. Ғайр аз ин андаке зиёдшавии  $\alpha$  барои алюминий ҳангоми коркарди ҳароратии он наздик ба ҳарорати гӯдохташавӣ мешавад [10].

Натиҷаҳои омӯзиши гармиғунҷоиши алюминийро муаллифони [8] ба таври графикӣ дар расми 1.3 ва ҷадвали 1.1 овардаанд. Ба фикри

муаллифон, гармгунчоиши алюминий бо зиёдшавии ҳарорат то нуқтаи гӯдохташави зиёд мешавад, яъне қимати классикии  $3R$  дар минтақа бурида мешавад, баъдан андак зиёдшавии гармигунчоиш мушоҳида мешавад. Барои алюминий коэффисиенти гармигунчоиши электронӣ ( $\gamma_e$ )  $1,35 \text{ мЧ}/(\text{мол} \cdot \text{К}^2)$  аст [9].



Расми 1.3 - Вобастагии ҳароратии гармигунчоиши хоси алюминий аз ҳарорат [17,18]

Муаллифони [11-13] дар ин ҳолат хосиятҳои алюминийро бо тозагии 99,999% таҳқиқ карда муайян намуданд, ки дар ҳарорати  $<400\text{K}$  ҳатогии натиҷаҳои дар ҷадвали 1.1 овардашуда 1% буда, дар ҳудуди ҳарорати  $>400\text{K}$  ва то ҳарорати гӯдохташавӣ ин ҳатогӣ 2% ва барои алюминийи моеъ - 3% мебошанд.

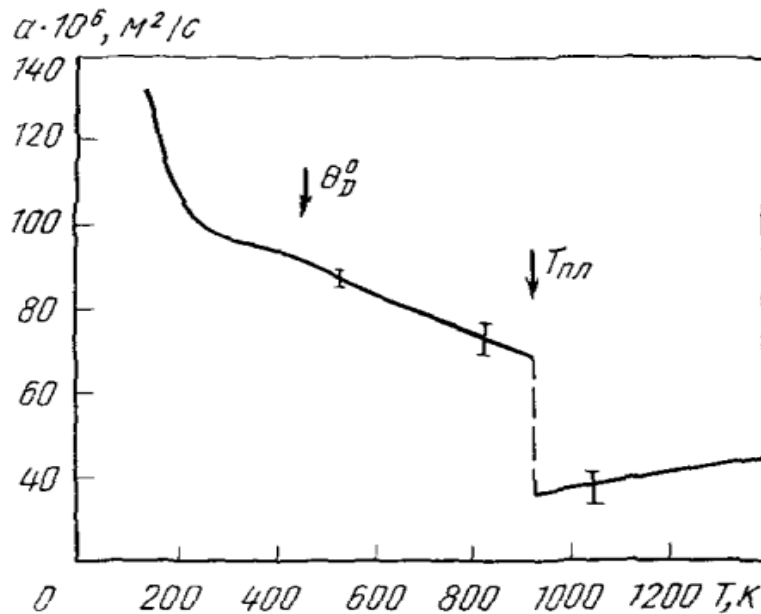
Ҷадвали 1.1 - Хосиятҳои теплофизикии алюминий [11]

T, K	$d$ , г/см <sup>3</sup>	$C_p$ , Дж/(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
933,61 <sub>s</sub>	2,368	1228,2	68,0	217,7/208	10,74/10,565	1,06
933,61 <sub>l</sub>	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	-

Барои алюминий коэффисиенти гармигузаронии ҳароратӣ, баланд мебошад. Барои алюминий дар ҳолати сахтӣ, ҳангоми ҳарорат аз 150 К зиёд, коэффисиенти ҳароратии манфӣ хос аст, ки ба минтақаи қиматҳои мусбат барои фазаи моеъи алюминий мегузарад [14-16].

Муаллифони [18] вобастагии ҳароратии коэффисиенти ҳароратгузаронии алюминийро омӯхтанд, ки натиҷаҳои таҳқиқот дар расми 1.4 нишон дода шудаанд. Нишон дода шудааст, ки муқовимати нисбии боқимондаи алюминий 1600 Ом аст, дар ҳоле ки дар фосилаи ҳароратҳои аз 700 то 900 К ҳатогии ченкунӣ 4% ва аз ҳароратҳои нишондодашуда баландтар ё поёнтар 8% аст.





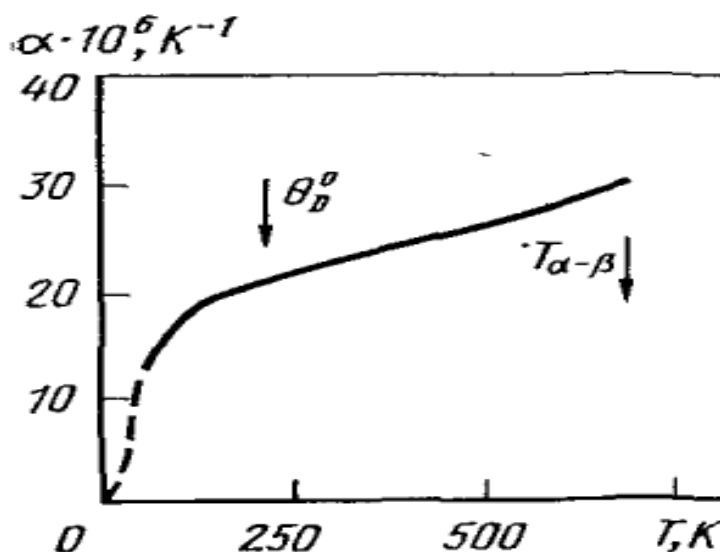
**Расми 1.4** - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти ҳароратгузаронии (а) алюминий [18]

Алюминий дар ҳолати моеъ ва сахт дорои гармигузароние аст, ки онро сохтори электрони алюминий таъмин мекунад. Саҳми сохтори панҷараи алюминий дар ҳарорати 800 К 2 % аст, дар ҳоле ки барои маълумоти боқимондаи таркиб ва сохтори алюминий ҳамоғиҳо тақрибан 5 % ҳастанд [17, 18].

*Гармиғунҷоиши калсий.* Калсий метали сабуки сафеди нуқрагин аст. Ҳангоми фишори муқаррарӣ, калсий дорои ду модификасии кристаллографӣ – г. с. к. ( $\alpha$ -Са) бо даври панҷарай  $a = 0,55884$  нм дар 299 К ва о. с. к. ( $\beta$ -Са) бо даврӣ,  $a = 0,448$  нм дар 740 К, ҳароратҳои гузариши байни онҳо 716 К, 737 К ва 740 К аст [6].

Вобастагии ҳароратӣ коэффисиенти ҳатти васеъшавии (ТКЛР)  $\alpha$ -калсий дар расми 1.5 оварда шудааст. Он барои металлҳои оддӣ хос буда – то вобастагии баландӣ ғайрихаттӣ, ҳатӣ ва суст аз боло ҷойгир аст. Маълумот оид ба зичии калсий дар вобастагӣ аз ҳарорат дар ҷадвали 1.2. оварда шудааст, қайд мекунем, ки аз 700 К зиёдтар онҳо тавзеҳотро талаб мекунанд. Мавҷудияти қисчаҳои электрони хурд дар калсий дар

минтақай дуюм ба он оварда мерасонад, ки муқовимати электрикии он аз фишор сахт вобастагӣ дорад.

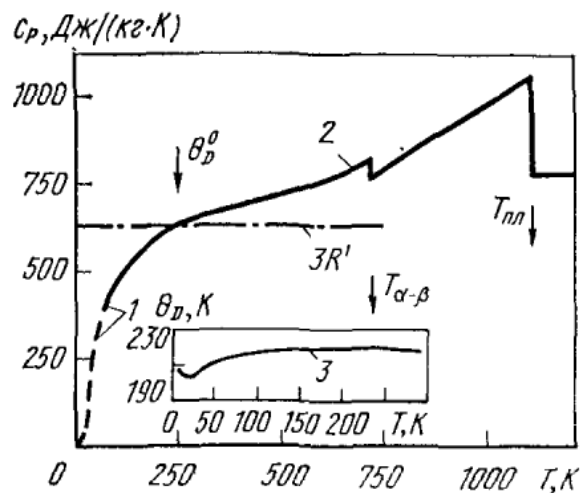


**Расми 1.5** - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти хаттии васеъшавии  
(a) калсий

Маълумот дар бораи характеристикаҳои чандирии металлҳои зергурӯҳи магний дар  $T=300\text{K}$  дар ҷадвали 1.3 оварда шудааст. Дар поён қиматҳои модули Юнг поликристалии калсий дар ҳароратҳои 93-873 К [6] оварда шудаанд.

T, К.....	93	293	473	673	873
E-10 <sup>11</sup> , Па ....	20,6	19,6	17,7	15,7	12,3

Маълумот оид ба гармиғунҷоиши калсий дар расми 1.6 ва ҷадвали 1.2 оварда шудааст. Вобастагии монандии  $C_p(T)$  ва  $a(T)$ -и калсийро дар минтақа тавзеҳот медиҳем. Дар минтақа ҳангоми наздик шудан ба нуқтаи ғӯдохташавӣ афзоиши аномалии гармиғунҷоиш мушоҳида карда мешавад, ки ҳангоми гузаштан ба ҳолати моеъ ҷаҳиши калон ба поён аст, пас  $C_{жр}/3R = 1,28$ . Чи тавре, ки аз ҷадвали 1.2 бармеояд, таҳқиқотҳои дақиқ [6] паст шудани гармиғунҷоиши калсийро дар ҳолати моеъ бо зиедшавии ҳарорат нишон медиҳанд. Коэффисиенти гармиғунҷоиши электрони калсий  $\gamma_e = 2,9 \text{ мҶ}/(\text{мол}\cdot\text{K}^4)$  аст.



Расми 1.6 - Вобастагии хароратии гармигунчоиши хоси ( $C_p$ ) калсий:

1 - [6] дар харорати Дебай ( $\theta_D$ )

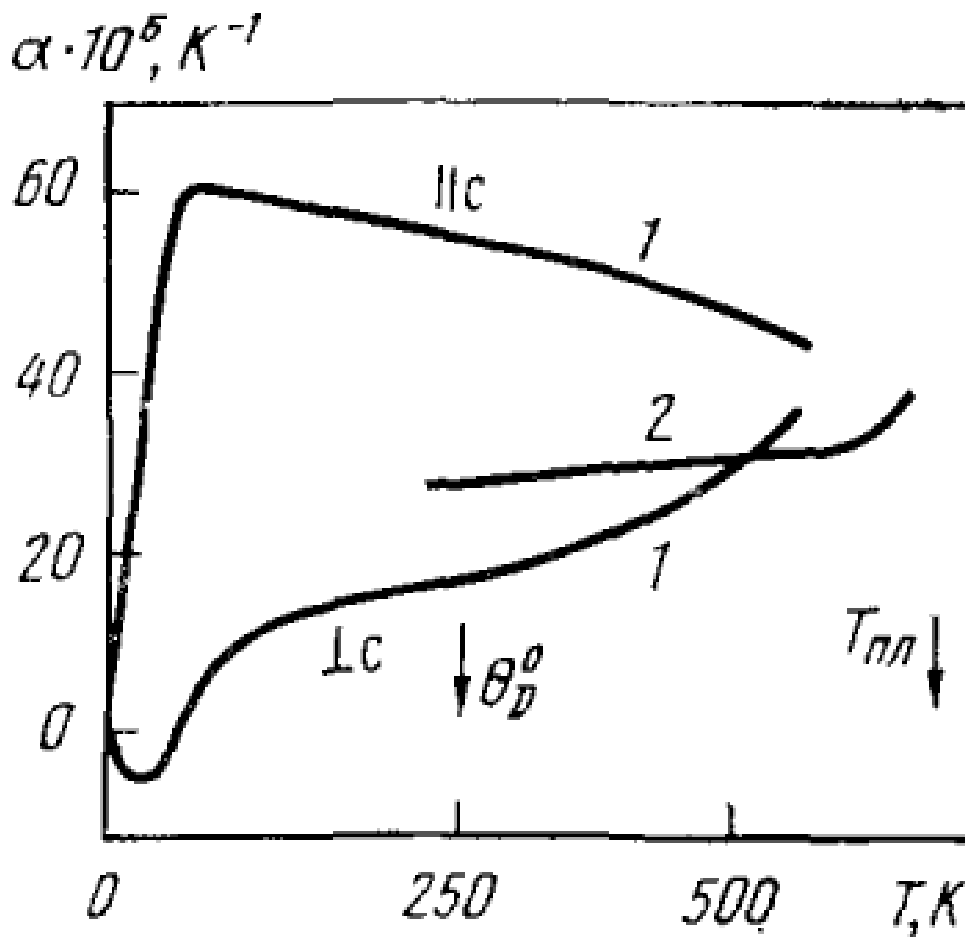
Ҷадвали 1.2 - Хосиятҳои теплофизикии калсий [6]

T, К	d, г/см <sup>3</sup>	$C_p$ , Дж/кг·К	$\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/м·К	$\rho \cdot 10^{-8}$ , Ом·м	$L/L_0$
50	-	-	-	-	-	0.241
100	-	501.1	-	-	-	0.872
200	1.551	613.5	-	228	-	2.15
300	1.539	644.8	647.7	199	195	3.42
400	1.527	668.6	669.1	176*	180*	4.62
500	1.516	609.7	711.3	166*	174*	6.05
600	1.504	755.9	758.0	152*	171*	7.31*
700	1.548	807.5	807.2	138*	170*	8.72*
715 <sub>α</sub>	1.546	814.5	815.4	140*	177*	8.96*
715 <sub>β</sub>	1.51	783.7	786.0	136*	165*	-
800	-	845.7	857.6	123*	160*	10.7*
900	-	917.3	926.5	93.1*	131*	10.1*
1000	-	989.5	982.8	81.0*	121*	12.9*
1100	-	1064.9	1073.1	-	-	14.7*
1114 <sub>s</sub>	-	1076.7	1133.2	-	-	14.1*
1114 <sub>t</sub>	-	775.6	813.6	-	-	32.3*
1200	-	775.6	808.7	-	-	32.3*
1400	-	775.6	794.0	-	-	-
1600	-	773.4	778.6	-	-	-

\*Маълумотҳо ба тавзеҳот ниёз доранд

Ҳангоми фишори муқаррарӣ, калсий дорои ду модификасияи кристаллографӣ - ГЦК ( $\alpha - \text{Ca}$ ) бо даври панҷараи  $a = 0,55884$  нм, дар 298К ва ОЦК ( $\beta - \text{Ca}$ ) бо даври  $a = 0,448$ нм, дар 740К, ҳароратҳои гузариш байни онҳо аз рӯи [6] 716 К , 737 К ва 740 К мебошанд.

*Гармиғунҷоиши кадмий.* Кадмий мисли рӯҳ то  $T_{\text{гуд}} = 594,258$  К бо таносуби даврҳои панҷараи  $c/a = 1,885$  (ҳангоми 294 К,  $a = 0,29788$  нм ва  $c = 0,56176$  нм) дорои сохтори г. п. у. мебошад. Мувоқиқи маълумоти қори [7], ҳангоми 273 К,  $a = 0,29776$  нм,  $c = 0,56101$  нм мебошад. Кадмий мисли рӯҳ дорои анизотропияи пурқуввати васеъшавии гармӣ мебошад (расми 1.7). Маълумот дар бораи зичии кадмий дар вобаста аз ҳарорат дар ҷадвали 1.3 оварда шудааст.



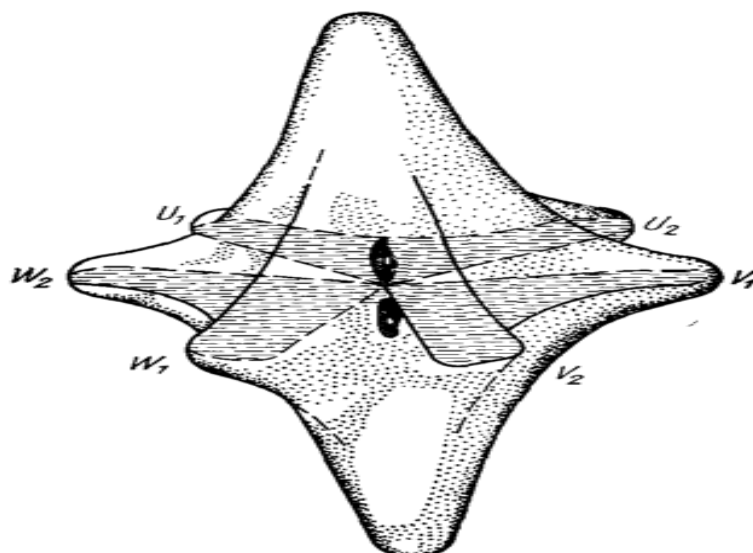
Расми 1.7 - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти хаттии васеъшавии (а) кадмий [6]

Ҷадвали 1.3 - Хосиятҳои теплофизикии кадмий [6]

T, К	d, г/см <sup>3</sup>	C <sub>p</sub> , Ц/кг·К	$\alpha \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$			$\lambda, \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$			$\rho \cdot 10^{-8}, \text{Ом} \cdot \text{м}$			L/L <sub>0</sub>
			$\alpha_{\text{поли}}$	$\alpha_{11}$	$\alpha_1$	$\lambda_{\text{поли}}$	$\lambda_{11}$	$\lambda_1$	$\rho_{\text{полн}}$	$\rho_{11}$	$\rho_1$	
50	-	-	-	-	-	120	103	128	-	-	-	-
100	8.80	-	-	-	-	103	88.3	100	-	-	-	0.01
200	8.72	-	50.5	44.0	54.5	99.3	35.1	106	4.7	5.3	4.3	0.95
300	8.650	231.0	48.0	41.5	51.5	95.9	82.9	102.9	7.2	8.9	6.9	0.94
400	8.573	241.7	46.0	39.0	49.0	95.3	80.8	101.5	10.0	11.3	9.5	0.97
500	8.495	252.6	43.5	37.0	46.0	93.4	79.4	98.7	13.0	14.4	12.1	0.99
594.26 <sub>s</sub>	8.419	263.0	42.0*	35.0*	44.0*	93.0*	77.5*	97.4*	15.3*	-	-	0.98*
594.26 <sub>l</sub>	8.01	264.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600	8.01	264.5	23.6	-	-	-	-	-	33.0	-	-	1
800	7.9	264.5	27.3	-	-	-	-	-	35.5	-	-	1

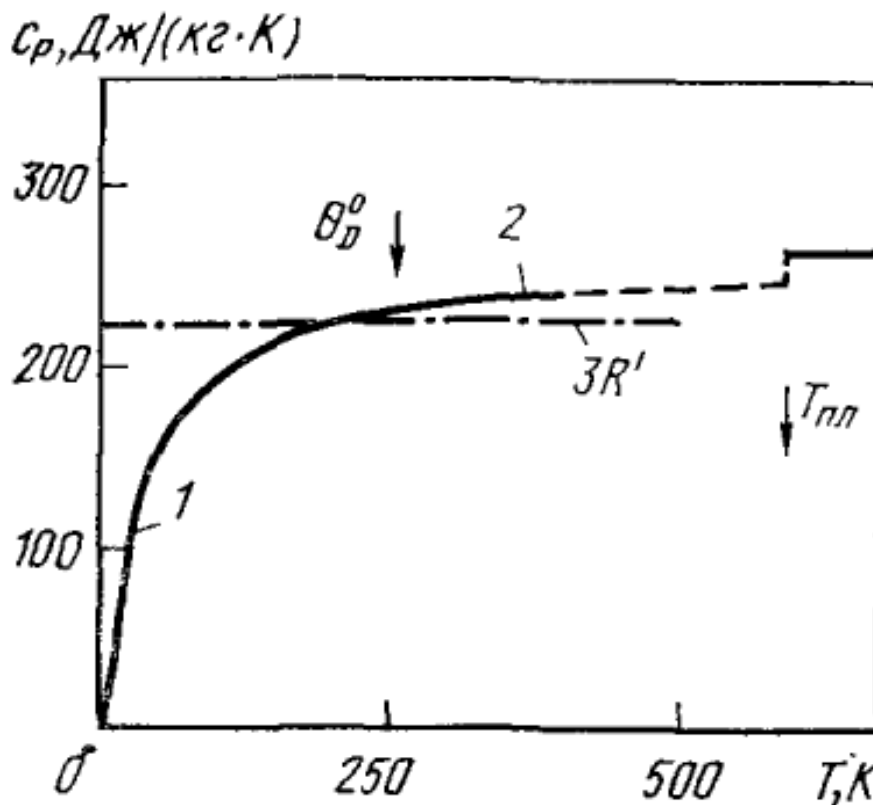
\*Маълумотҳо ба тавзеҳот ниёз доранд

Сатҳи Ферми кадмий ва рӯҳ ба ҳам монанданд (расми 1.8), гарчанд қисман баъзе фарқиятҳо вучуд доранд, ҳамин тавре, ки дар кадми қисчаҳои электронии сӯзаншакл дар нуқтаи /C нопадид мешаванд ва дар сатҳи сӯрохдори минтақаи 2 қанишҳо пайдо мешаванд.



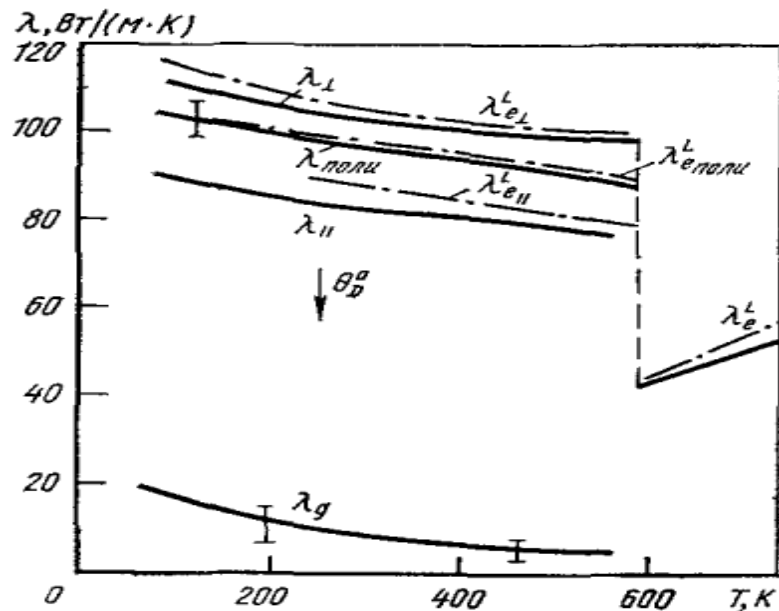
Расми 1.8 - Сатҳи сӯроҳии Ферми кадмий [6]

Вобастагии ҳарорати гармиғуноиши кадмий (расми 1.9) бо рӯх монанд аст. Нақши нисбатан хурди эффеҶтҳои ғайригармоникиро (дар  $T = 20$ д  $C_p/3R = 1,09$ ) ва ҷаҳиши хурди гармиғунҷоишро дар ҳолати моеъшавӣ ( $C_p/3R = 1,14$ ) қайд мекунем. Коэффисиенти электрони гармиғунҷоиши кадмий  $\gamma_e = 0,688$  мҶ/(мол\*К<sup>2</sup>) аст.



Расми 1.9 - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси ( $C_p$ ) кадмий - [6]

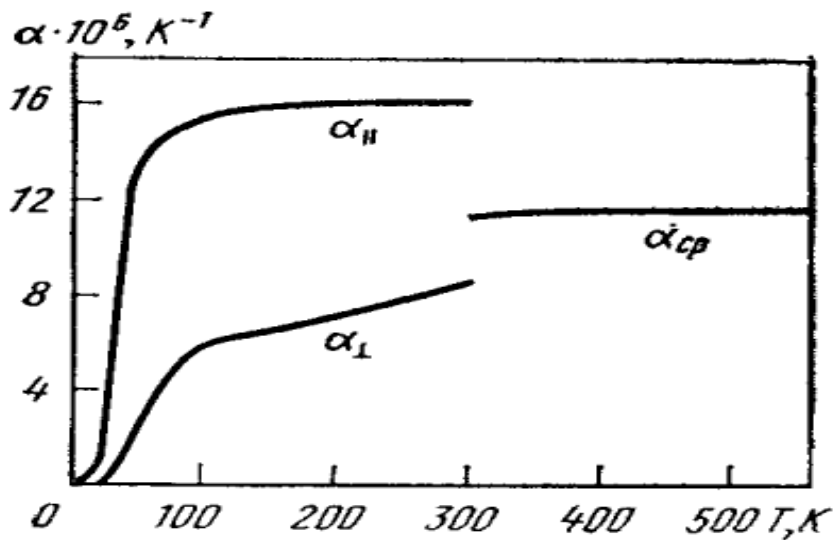
Вобастагии ҳароратии коэффисиентҳои гармигузаронии поликристалӣ ва монокристалӣ дар ҳолати саҳт ва моеъи онҳо аз рӯи самтҳои асосӣ низ якхела мебошад (расми 1.10). Мувофиқи маълумоти [7] қобилияти гармигузаронии кампонентҳои электронӣ, баҳогузори саҳми панҷараҳоро ба қиматҳои 2-4% оварда расонид аз К, ҳангоми  $T=V$  будан, ҳудуди хатогии X муайянкарда шуд, ки тақрибат 5%-ро дар ҳарорати хона ташкил намуда ва то 15% дар ҳолати моеъ расид, ки ташкилкунандаҳои электронӣ бо гармигузаронии пурра мувофиқат мекунад.



Расми 1.10 - Вобастагии ҳарорат коэффиенти гармигузаронии (А,) кадмий - [6]

Дар ҳарорати хона коэффиенти Холл  $R = +0,531 \times 10^{10} \text{ м}^3/\text{Кл}$ , дар ҳолати моеъ  $R = (0,76 \pm 0,3) \cdot 10^{10} \text{ м}^3/\text{Кл}$  аст [6].

*Гармиғунҷоиши сурма.* Сурма метавонад дар шакли кристаллӣ ва се модификацияи аморфӣ мавҷуд бошад: дар шароити муътадил танҳо якумаш устувор аст - ромбоэдралӣ то  $T_{\text{гуд}} = 903,5 \text{ К}$  бо параметрҳои:  $a = 0,45064 \text{ нм}$ ;  $\alpha = 57,1^\circ$  [6].



Расми 1.11 - Вобастагии ҳароратии коэффиенти ҳарорати хаттии васъшавии (а) сурма [6]

Коэффисиенти ҳароратии васеъшавии ҳаттии сурма хело анизотропӣ мебошад (расми 1.11), чун барои дигар металлҳои ғайригузаранда он аз  $\theta_D$  баланд буда, бо зиёдшавии ҳарорати суст афзоиш мекунад [6,7].

Маълумот оид ба вобастагии ҳарорати зичии сурма дар асоси интерполясияи маълумотҳои дар қори [6] маълум карда, гирифта шуда, дар ҷадвали 1.4 оварда шудааст.

**Ҷадвали 1.4 - Хосиятҳои теплофизикии сурма [6]**

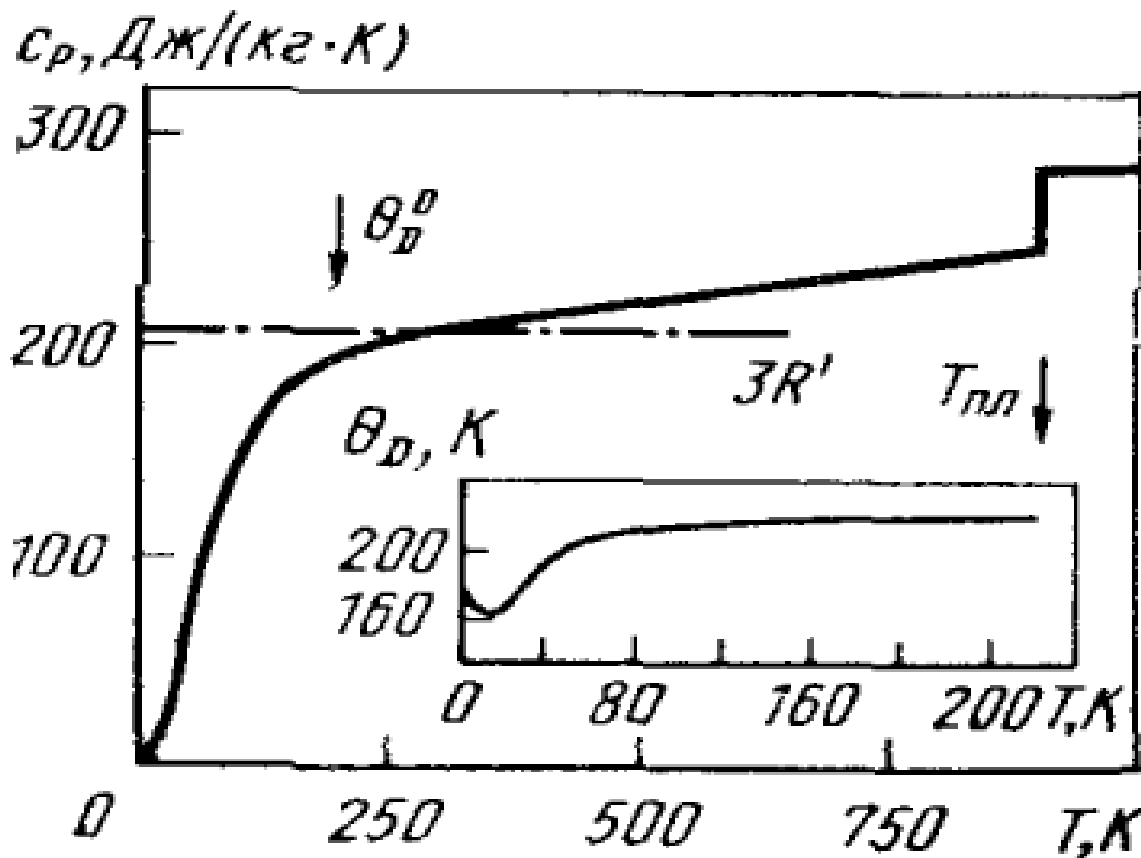
T, K	d, г/см <sup>3</sup>	C <sub>p</sub> , Ҷ/кг·К	$\alpha \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ , Вт/м·К	$\rho \cdot 10^{-8}$ , Ом·м			L/L <sub>0</sub>
					$\rho_{поли}$	$\rho_{II}$	$\rho_I$	
50	-	100.5	123	-/-	-	-	-	-
100	6.730	163.3	40.8	44.8/46.4	10* <sup>1</sup>	-	-	-
200	6.710	197.6	22.5	29.8/30.2	20* <sup>1</sup>	-	-	-
300	6.686	209.0	17.5	24.5/24.3	40* <sup>1</sup>	34.6* <sup>2</sup>	44.3* <sup>2</sup>	1.3
400	6.664	212.7	15.0	21.3/21.2	64* <sup>1</sup>	57* <sup>1</sup>	60* <sup>1</sup>	1.3
500	6.640	218.2	13.4	19.4/19.4	87* <sup>1</sup>	801* <sup>1</sup>	94* <sup>1</sup>	1.3
600	6.616	223.6	12.3	18.2/18.2	110* <sup>1</sup>	102* <sup>1</sup>	115* <sup>1</sup>	1.3
700	6.592	229.0	11.5	17.3/17.4	130* <sup>1</sup>	120* <sup>1</sup>	137* <sup>1</sup>	1.3
800	6.569	234.4	10.8	16.6/16.8	138* <sup>1</sup>	131* <sup>1</sup>	142* <sup>1</sup>	1.2
900	6.545	239.8	10.2	116.0/-	145* <sup>1</sup>	-	-	1.1
903.5 <sub>S</sub>	6.540	240.1	10.2	16.0/-	146* <sup>1</sup>	-	-	1.1
903.5 <sub>I</sub>	6.543	274.7	15.5	27.1/0	105* <sup>1</sup>	-	-	1.1
1000	6.42	274.7	16.3	28.7/-	110* <sup>1</sup>	-	-	-
1200		274.7	-	-	-	-	-	-

\*Маълумотҳо ба тавзеҳот ниёз доранд

Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши сурма дар расми 1.12 пешниҳод ва дар ҷадвали 1.4 оварда шудааст. Қайд намуд, ки дар ҳолати саҳт C<sub>p</sub> аз қимати классикии 3R камтар зиёд аст (наздикии T<sub>гуд</sub> 16%), вале ҳангоми ғӯдохташавии чаҳишноқ ба самти боло равона мешавад ва



$C_v/3R = 1,35$  аст. Коэффициенти гармигунҷоиши электрони сурма нисбат ба дигар металлҳои оддӣ ба таври назаррас пастр аст:  $\gamma_e = 0,24$  мҶ / (мол · К<sup>2</sup>), ки барои нимметалҳо хос мебошад.



Расми 1.12 – Вобастагии ҳарорати гармигунҷоиши хоси ( $C_p$ ) сурма бо замима – маълумот [6] дар ҳарорати Дебай  $\theta_D$

Маълумотҳо оид ба ҳароратгузаронӣ ва гармигузаронии сурма дар ҷадвали 1.4 оварда шудааст. Хатогихои маълумотҳои гирифташуда хеле калон буда, барои ҳолати сахт 10% ва барои ҳолати моеъ 20%; бо вучуди ин, қайд мекунем, ки функсияи Лоренс  $\lambda/\lambda_e^L = \lambda/L_0 T/p = L/L_0$  барои сурмаи сахт ба таври назаррас бузургтар аз яқвоҳид аст.

### 1.3. Хусусиятҳои оксидшавии ҳӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма

*Хусусиятҳои оксидшавии ҳӯлаҳои алюминий.* Раванди оксидшавии алюминий ё дигар металл бевосита дар қабати гармшудаи фазаи конденсатсияшуда фавран оғоз меёбад. Асосан ҳуди раванди оксидшавии

металл — раванди сӯзиш дар оташи ҳарорати баланд мегузарад. Машъали алангаи борут аслан аз маҳсулоти газмонанди сӯзишвории таҷзияшаванда ва оксидкунанда ва зарраҳои металлӣ дар ин муҳити сӯхта иборат мебошад. Макрокинетикаи раванди сӯзиши ин гуна машъал бояд қонуниятҳои сӯзиш ва оташ задани заррачаҳои алоҳидаро бо тақсимои муайяни андоза ва тағйироти онҳо ба назар гирад. Назарияҳои пешниҳодшуда, барои тавсифи раванди оксидшавии алюминий тавре сохта шудаанд, ки аз онҳо мумкин конуни логарифмии афзоиши ғафсии пардаи оксид дар вақти концентратсияи реактивҳои фаъол дар муҳит ҳосил карда шаванд. Ҳангоми кафшери бронзаи алюминий мушкилоти асосӣ, сабаби оксидшавии алюминий бо ҳосилшавии пардаи мушкилгӯдози оксиди  $Al_2O_3$  дар қабри ҳавзи кафшер боқимонда мебошад. Гармкунии металл дар атмосфераи оксидкунанда, якҷоя оксидшавӣ он мувофиқи реаксияи намуди умумӣ сурат мегирад:



Раванди оксидшавии метали саҳт аз якҷанд марҳилаҳои пай дар пай, аз ҷумла ҳодисаҳои адсорбсия ва диффузия ва таъсири мутақобилаи кимиёвӣ иборат аст. Омӯзиши хосиятҳои физико-химиявии алюминий ҳамчун яке аз металлҳои ояндадор барои коркарди маводи нави конструктивӣ мавзӯи бисёр корҳои илмӣ мебошад [19,–22].

Дар корҳои ибтидоӣ, ки ба оксидшавии алюминий бахшида шуда буданд, хусусияти параболии хатҳои оксидшавӣ дар ҳароратҳои 800-1500 С нишон дода шудааст [23]. Он гоҳ ақибмони раванд мушоҳида мешавад. Нишон дода шудааст, ки звенаи муайянкунанда тағйирёбии масса мебошад. Энергияи фаъолшавии раванди оксидшавии алюминийи моеъ аз 22 то 42 ккал/мол тағйир меёбад [19-24].

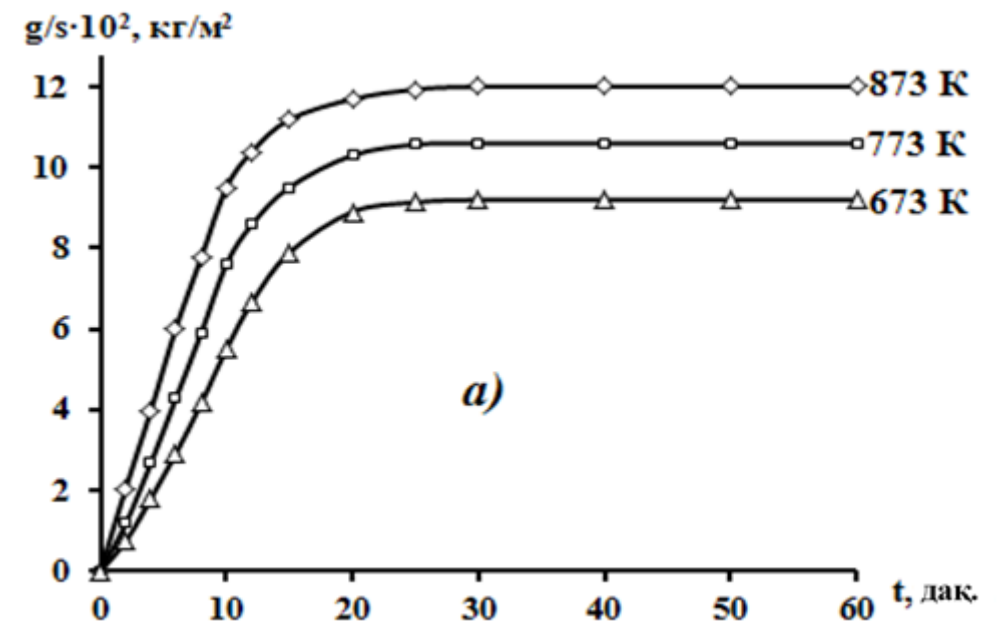
Тағйирёбии вазни алюминийи тоза ҳангоми оксидшавии он дар атмосфераи оксиген дар ҳарорати зиёдтар аз 350°C дар корҳои [25–30] муайян карда шудааст. Чунон ки маълум гардид, дараҷаи сайқал додан

ва дегазизация ба натиҷаҳои таҷрибавӣ саҳт таъсир мерасонанд. Мушоҳида гардид, ки ҳангоми ҳарорати  $400^{\circ}\text{C}$  зиёдшавии миқдори оксигени ҷабидашуда ба қонуни парабола итоат мекунад. Қонуни парабола низ ҳангоми оксидшавии алюминий дар ҳудуди  $350\text{--}475^{\circ}\text{C}$  муқаррар шудааст [36]. Энергияи ғаъолшавии ин раванд  $22,8$  Кал/мол аст. Ин бузурги аз маълумоте, ки ҳангоми оксидшавии анодии алюминий [31] гирифта шудаанд, хеле фарқ мекунад, ки мувофиқан  $E=37\text{--}42$  ккал/мол аст.

Аммо, бо маълумоти Радин А.Л. [32] ҳангоми нигоҳдории 170-соат дар алюминий қабати оксиди бо ғафсӣ камтар 2-3 маротиба ҳосил мегардад. Тавре [31], омӯзиши структураи рентгении пардаҳои оксиди дар алюминийи ҳамвор дар ҳарорати то  $1570^{\circ}\text{C}$  нишон дод, структураи оксиди ҳосилшуда ба модификатсияи  $\alpha\text{-Al}$  мувофиқат мекунад, ки онро маълумотҳо оид ба масофаҳои байниҳамворӣ ва интенсивноки оксид тасдиқ мекунанд.

Дар доираи ҳароратҳои  $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$  ва  $1400\text{--}1570^{\circ}\text{C}$  босуръат баландшавии суръати пардахосилшавӣ, ва дар доираи  $1000\text{--}1400^{\circ}\text{C}$  зиёдшавии ғафсии пардаи ночиз мушоҳида мешавад. Гуфтаҳои болоро ҷамъбаст намуда, тахмин кардан мумкин аст, ки дар ҳарорати то  $1000^{\circ}\text{C}$  афзоиши пардаи оксид аз ҳисоби воҳурии диффузияи ҳарду кампонентҳои оксид ба амал меояд. Баландшавии ҳарорат сабаби эҳтимоляти афзоиши парда аз ҳисоби гузариши иони  $\text{Al}^{3+}$  мебошад, зеро бузургии коэффисиенти диффузияи он зиёд мешавад [100-105].

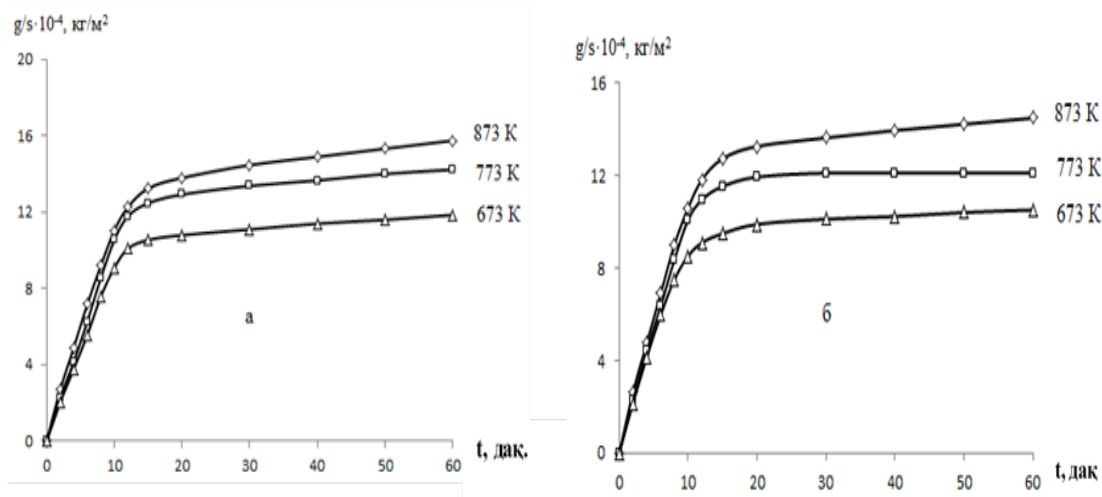
Вале таъсири чунин омилҳоро, аз қабали майдонҳои электрикии дохилӣ, нуқсонҳои сохторӣ ва ғайра бо бузургии коэффисиенти диффузияи ин кампанентҳо ба назар гирифтани лозим аст. Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ин ҳулаҳо (натиҷаҳои таҳқиқот) дар расми 1.13 [32] оварда шудааст.



Расми 1.13 - Қачхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи алюминий АЖ2.18 (а)

### Хусусиятҳои оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо калсий.

Кинетикаи оксидшавии хӯлаи Al-Ca-ро муаллифони [33] омӯхтанд. Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии ин хӯлаҳо (натиҷаҳои таҳқиқот) дар расми 1.14 ва ҷадвали 1.5 оварда шудаанд [33].



Расми 1.14 - Қачхатиҳои кинетикии оксидшавии алюминий (а); бо калсий (б), ваз. %: [33]

Алюминий бо калсий то ба як андоза ба баланд шудани суръати ҳақиқии оксидшавӣ ва мутаносибан ба кам шудани энергияи фаъолшавии оксидшавӣ нисбат ба хӯлаи дорои 0,005 ваз.% калсий

мусоидат мекунад. Ҳамин тариқ, агар дар ҳарорати 673К ва 873К қимати оксидшавии ҳақиқии хӯлаи дорои 0,005 ваз.% калсий аз  $2,00 \cdot 10^{-4}$  то  $2,50 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> бо энергия фаъолшавӣ 146,3 кҶ/мол тағйир ёбад, пас дар ҳамин ҳароратҳо суръати оксидшавии хӯлаи А1, ки дорои 0,01 ва 0,05 ваз.% калсий мебошад, бо қиматҳои  $2,09 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,55 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> ва  $2,19 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,66 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> тавсиф мешавад ва дар ин маврид қимати энергияи фаъолшавӣ 140,4 ва 130,6 кҶ/мол аст (ҷадвали 1.5) [33].

**Ҷадвали 1.5** - Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ ва раванди оксидшавии алюминий бо калсий дар ҳолати сахт

Миқдори калсий дар хӯла мас.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ К·10 <sup>4</sup> , кг·м <sup>-2</sup> ·с <sup>-1</sup>	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	673	1.96	149.0
	773	2.10	
	873	2.40	
0.005	673	2.00	146.3
	773	2.20	
	873	2.50	
0.01	673	2.09	140.4
	773	2.32	
	873	2.55	
0.05	673	2.19	130.6
	773	2.53	
	873	2.66	
0.1	673	2.65	116.7
	773	2.78	
	873	2.93	
0.5	673	2.79	80.0
	773	3.21	
	873	3.30	

Хусусияти қачхатиҳои кинетикӣ оксидшавии алюминий бо калсий нишон медиҳанд, ки оксидшавӣ дар марҳилаҳои ибтидоӣ бошиддат мегузарад, ки ин аз зиёдшавии вазни хоси намунаҳо гувоҳӣ медиҳад.

Суръати ҳақиқии оксидшавии алюминий дар вобастагӣ аз ҳарорат дар худуди  $1.96 \cdot 10^{-4}$  до  $2.40 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  тағйир меёбад [33].

Дар ҷадвали 1.6 натиҷаҳои коркарди қачхатиҳои оксидшавӣ дар шакли вобастагӣ  $(\text{g/s})^2$ -т барои алюминии дорои аз 0,005 то 0,5 ваз.% калсий оварда шудааст. Бояд хулоса кард, ки характери оксидшавии хӯлаҳо ба вобастагии гиперболӣ итоат мекунад [33].

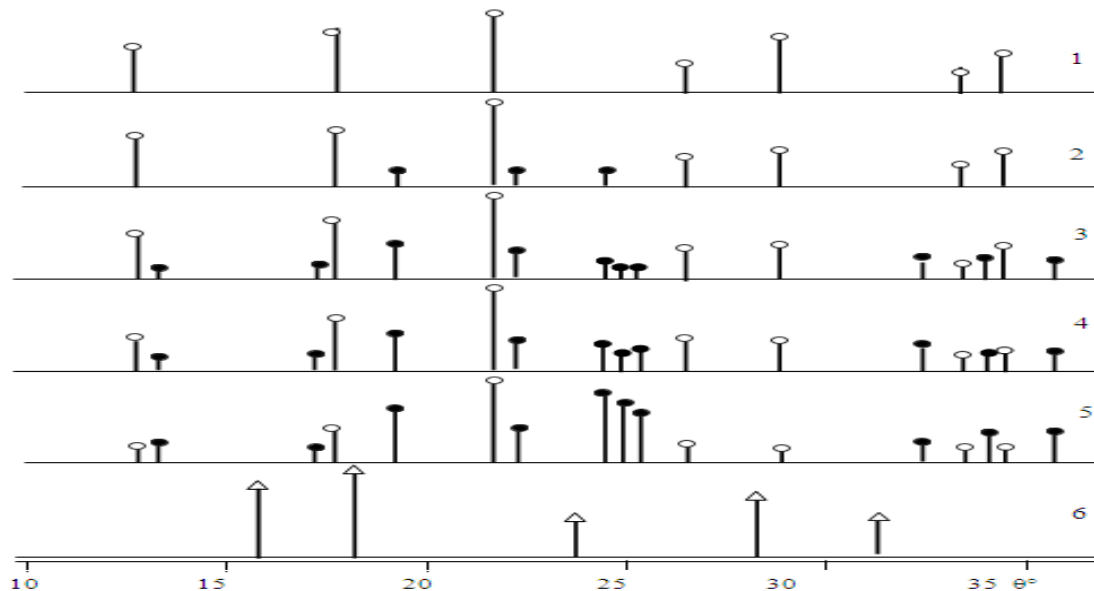
**Ҷадвали 1.6 -** Полиномҳои қачхатиҳои оксидшавии алюминий бо калсий, дар ҳолати саҳт [33]

Миқдори калсий дар хӯла, ваз. %	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қачхатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Кoeffисиенти регрессия, $R^2$
0.0	673	$y = -0,6 \cdot 10^4 x^4 + 0,7 \cdot 10^3 x^3 - 3,96 \cdot 10^2 x^2 + 0,9982x$	0,989
	773	$y = -0,6 \cdot 10^3 x^4 + 0,6 \cdot 10^3 x^3 - 4,06 \cdot 10^2 x^2 + 1,1812x$	0,987
	873	$y = -0,6 \cdot 10^4 x^4 + 0,7 \cdot 10^3 x^3 - 5,05 \cdot 10^2 x^2 + 1,4563x$	0,994
0.005	673	$y = -0,5 \cdot 10^2 x^5 + 0,1 \cdot 10^3 x^4 - 2,17 \cdot 10^2 x^3 + 0,1877x^2 + 0,385x$	0,998
	773	$y = -0,5 \cdot 10^1 x^5 + 0,8 \cdot 10^3 x^4 - 1,82 \cdot 10^2 x^3 + 0,151x^2 + 0,7302x$	0,999
	873	$y = -0,5 \cdot 10^1 x^5 + 0,8 \cdot 10^3 x^4 - 1,95 \cdot 10^2 x^3 + 0,1668x^2 + 0,9131x$	0,999
0.01	673	$y = -0,5 \cdot 10^1 x^5 + 0,7 \cdot 10^3 x^4 - 1,56 \cdot 10^2 x^3 + 0,1208x^2 + 0,6781x$	0,998
	773	$y = -0,5 \cdot 10^1 x^5 + 0,7 \cdot 10^3 x^4 - 1,68 \cdot 10^2 x^3 + 0,1394x^2 + 0,7257x$	0,997
	873	$y = -0,6 \cdot 10^9 x^5 + 0,4 \cdot 10^3 x^4 - 1 \cdot 10^2 x^3 + 0,0582x^2 + 1,1426x$	0,999
0.05	673	$y = -0,5 \cdot 10^2 x^5 + 0,5 \cdot 10^3 x^4 - 0,95 \cdot 10^2 x^3 + 0,0381x^2 + 1,0224x$	0,999
	773	$y = -0,5 \cdot 10^1 x^5 + 0,6 \cdot 10^3 x^4 - 1,37 \cdot 10^2 x^3 + 0,092x^2 + 0,9214x$	0,996
	873	$y = -0,6 \cdot 10^8 x^5 + 0,4 \cdot 10^3 x^4 - 0,98 \cdot 10^2 x^3 + 0,0563x^2 + 1,1158x$	0,992
0.1	673	$y = -0,6 \cdot 10^8 x^5 + 0,3 \cdot 10^3 x^4 - 0,62 \cdot 10^2 x^3 + 0,0118x^2 + 0,9107x$	0,995
	773	$y = -0,6 \cdot 10^3 x^4 + 0,7 \cdot 10^3 x^3 - 4,78 \cdot 10^2 x^2 + 1,1946x$	0,998
	873	$y = -0,6 \cdot 10^2 x^5 + 0,2 \cdot 10^3 x^4 - 0,48 \cdot 10^2 x^3 + 0,0241x^2 + 1,0397x$	0,997
0.5	673	$y = -0,6 \cdot 10^3 x^4 + 0,4 \cdot 10^3 x^3 - 3,57 \cdot 10^2 x^2 + 0,9898x$	0,991
	773	$y = -0,6 \cdot 10^4 x^4 + 0,7 \cdot 10^3 x^3 - 4,49 \cdot 10^2 x^2 + 1,2172x$	0,997
	873	$y = -0,6 \cdot 10^2 x^5 + 0,1 \cdot 10^3 x^4 - 0,32 \cdot 10^2 x^3 + 0,0027x^2 + 1,1238x$	0,998

## Хусусиятҳои оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо кадмий

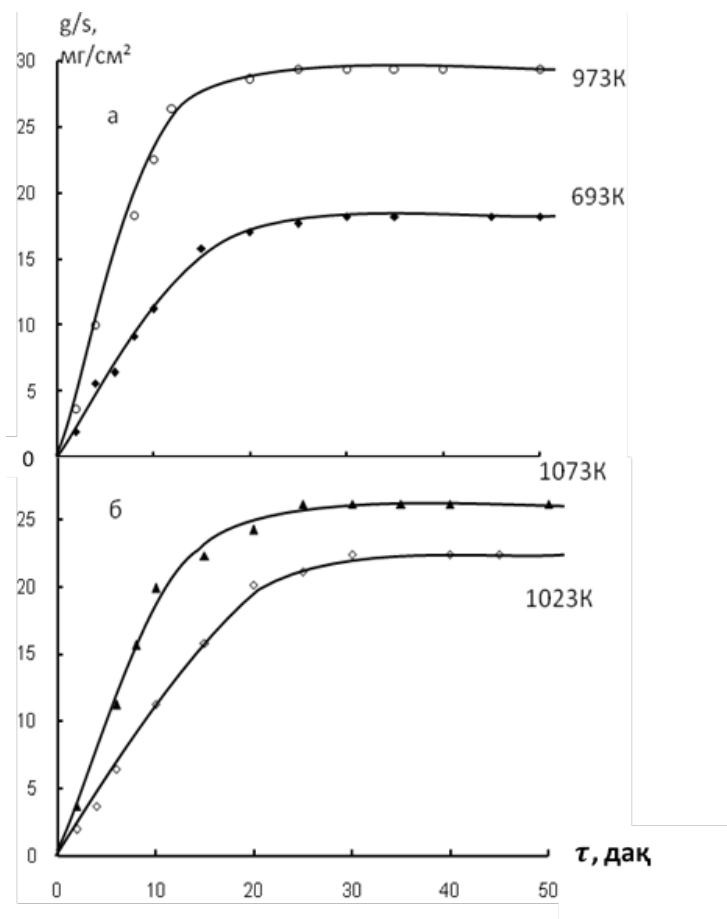
Бо назардошти диаграммаи ҳолати системаи алюминий-кадмий барои таҳқиқот хӯлаҳои ба миқдори 1,5, 3,0, 4,5 ва 6,5 ваз.% кадмий ҳосил карда шуд.

Дар расми 1.15 қачхатиҳои кинетикии тағйирёбии массаи хос ( $q/s$ ) вобаста аз вақт ва ҳарорат ҳангоми таъсирбахши бо фазаи газӣ барои кадмий моеъ оварда шудаанд. Оксидшавӣ дар ҳароратҳои 693 ва 973 К гузаронида шуд. Хусусияти хоси оксидшавии кадмийи моеъ раванди оксидшавии васеъ дар 693К мебошад. Оксидшавӣ дар ин ҳарорат дар 25—30 дақиқа ба охир мерасад. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ  $2,22 \cdot 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>•с) аст, гарчанде ки дар ҳарорати 973К раванди оксидшавӣ пуршиддаттар мегузарад. Афзоиши вазни намуна 30 мг/см<sup>2</sup> аст. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ  $7,50 \cdot 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>•с) аст. Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ 229,03 кҶ/мол аст. Раванди оксидшавии васеъ дар ҳарорати паст зоҳиран бо сустшавии оксиди кадмий шарҳ дода мешавад, ки баъдан хосиятҳои муҳофизатиро ба даст меорад.



Расми 1.15 – Штрих-дифрактограммаҳои маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаҳои системаи Al-Cd, дорои Cd (ваз.%): 1-0,0; 2-2,5; 3,0; 4-7,5; 5-10,0; 6-100,0

Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи алюминий-кадмий дар ҷадвали 1.7 пешниҳод шудаанд. Оксидшавии хӯлаи дар таркибаш 1,5 ваз.% кадмий, дар ҳарорати 1023 ва 1073 К омӯхта шуд. Качхатиҳои кинетикӣ оксидшавӣ дар расми 1.16 пешниҳод карда шудаанд.



**Расми 1.16** - Качхатиҳои оксидшавии хӯлаҳои моеъи системаи Al-Cd, дорои ваз.% Cd: а-100,0, б-1,5

Характери качхатиҳои кинетикӣ қонуни параболии таъсири мутақобилаи гӯдохта бо фазаи газӣ тасдиқ мекунад. Суръати ҳақиқии оксидшавии хӯла дар ҳароратҳои нишондодаи таҳқиқот  $2,77 \cdot 10^{-4}$  ва  $3,89$  кг/(м<sup>2</sup>·с) аст. Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ 71,4 кҶ/мол аст. Оксидшавии хӯлаи дорои 3,0 % кадмий дар ҳароратҳои 973, 1023, 1073 К омӯхта шуд. Дар давоми 10-15 дақиқа качхатиҳои кинетикӣ суръати назарраси оксидшавӣ ва вобастагии хатиро аз вақт тавсифот



мекунанд[34]. Минбаъд, қобилияти муҳофизатии ташаккулёфта меафзояд.

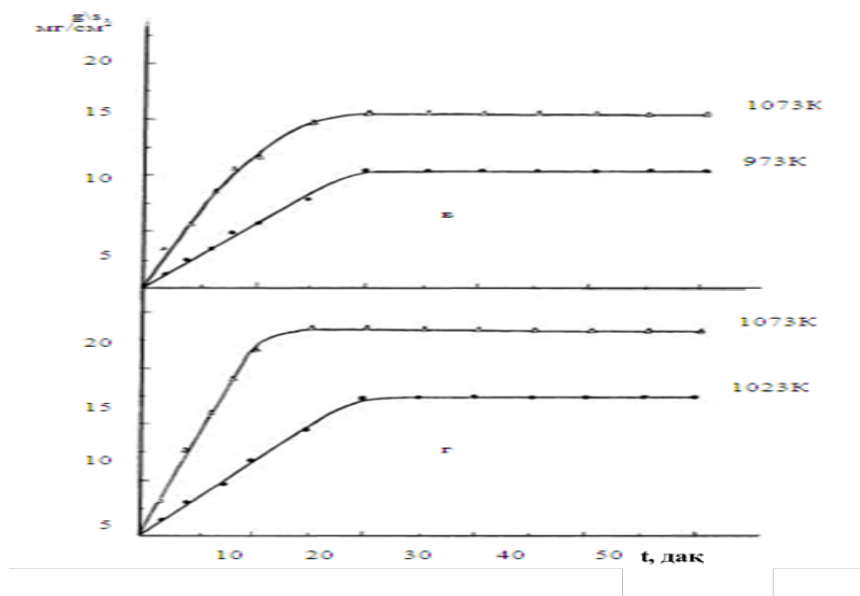
**Ҷадвали 1.7 - Параметрҳои раванди оксидшавии хӯлаҳои моеъи системаи Al-Cd**

Таркиби хӯлаҳо, ваз. %		Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, К·10 <sup>-4</sup>	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, Q кҶ/мол
Al	Cd			
100.0	0.0	1003	2.78	70,12
		1053	4.17	
		1103	5.83	
98.5	1.5	1023	2.77	71,4
		1073	3.88	
97.0	3.0	973	2.16	91,70
		1023	3.42	
		1073	3.95	
95.5	4.5	973	2.23	112,34
		1073	4.25	
93.5	6.5	1023	2.58	135,7
		1073	4.67	
0.0	100	693	2.21	229,03
		973	7.5	

Қаҷхатиҳои пардаҳои оксиди ҳамвор ба парабола мегузаранд. Пардаҳои оксиди ташкилшуда дар марҳилаҳои ибтидоии раванд, аз афташ, хосиятҳои кофии муҳофизатӣ надорад ва миқдори зиёди холигии оксиген монеаи сусти диффузияи электрониро ба вуҷуд меорад. Қаҷхатиҳои кинетикии оксидшавии дар расми 1.17 оварда шуда, ба хӯлаи дорои 4,5 ваз. % кадмий тааллуқ доранд. Ин хӯла дар ҳароратҳои 973 ва 1073К ба оксидшавӣ дучор мешавад. Раванди оксидшавӣ дар ҳудуди ҳароратҳои дар боло нишон додашуда, мувофиқи қонуни парабола сурат мегирад. Афзоиши суст, вале ҳамвора дар ғафсии пардаи оксид мушоҳида мешавад, ки дар 25 дақиқа раванди оксидшавиро

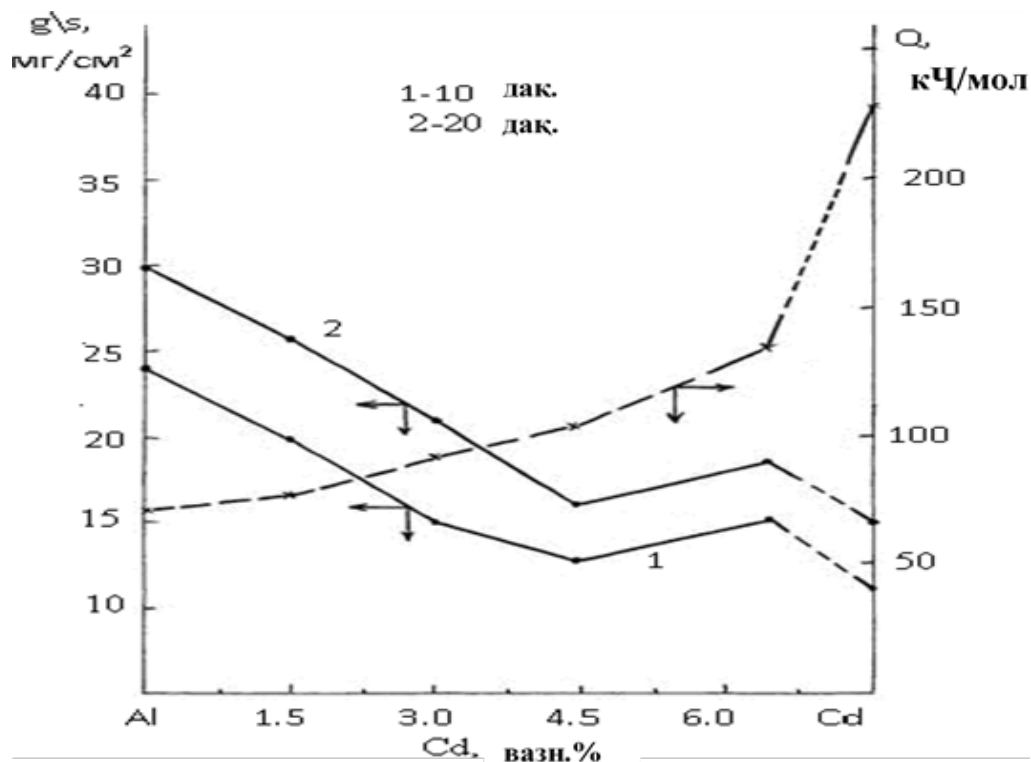
комилан пешгирӣ мекунад. Суръати оксидшавӣ бо баланд шудани ҳарорат меафзояд. Агар дар 973К  $2,23 \cdot 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>•с) бошад, пас дар 1073К он қариб ду баробар меафзояд ва ба  $4,25 \cdot 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>•с) баробар мешавад. Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ дар ин ҳолат дорои қимати 112,34 кҶ/мол аст.

Оксидшавии хӯлаи дорои 6,5 ваз.% кадмий дар ҳароратҳои 1023К ва 1073К омӯхта шуд (расми 1.17). Дар давоми 5—10 дақиқа оксидшавӣ мувофиқи қонуни хаттӣ гуашта, баъдан бо қадри ба вуҷуд омадани пардаи оксидӣ, характери қачхатиҳо ба қонуни парабола наздик мешавад ва раванди таъсири мутақобилаи гӯдохта бо фазаи газӣ дар давоми 30-40 дақиқа ба охир мерасад. Ҳангми ҳарорати 1023К, афзоиши сусти вазн мушоҳида мешавад. Қалонтарини вазни ин хӯла дар 1073 К ба қимати 18,5 мг/см<sup>2</sup> баробар мебошад. Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ 135,7 кҶ/мол аст. Дар шакли умумӣ оксидшавии изохронии хӯлаҳои системаи алюминий-кадмий дар 10 ва 20 дақиқа дар расми 2.18 оварда шудааст. Иловаҳои кадмий суръати оксидшавиро то андозае паст мекунад, ки ин аз зиёдшавии энергияи фаъолшавии оксидшавӣ шаҳодат медиҳад.



**Расми 1.17** – Қачхатиҳои оксидшавии хӯлаҳои моеъи системаи Al-Cd, дорои ваз.% Cd: в-4,5, г-6,5

Тадқиқоти маҳсулотҳои оксидшавии ҳулаҳои системаи алюминий-кадмий бо усулҳои ИКС ва ташҳиси рентгенӣ шоҳиди он мебошанд, ки таркиби фазавии пардаи оксидӣ бо таркиби химиявӣ ҳулаҳо мувофиқат мекунад.



Расми 1.18 - Изохронҳои оксидшавии ҳулаҳои моеъи системаи Al-Cd

Ҷадвали 1.8 - Таркиби фазавии маҳсулотҳои оксидшудаи ҳулаҳои системаи Al-Cd

Таркиби химиявӣ ҳулаҳо, ваз.%		Таркиби фазавӣ маҳсулотҳои оксидшудаи ҳулаҳо аз рӯи маълумотҳои РФА
Al	Cd	
100,0	0,0	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
98,5	1,5	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
95,5	4,5	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
93,5	6,5	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
0,0	100,0	CdO

**Чадвали 1.9 -** Таркиби фазавии маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаҳои системаи Al-Cd аз рӯи маълумоти ИКС

Таркиби химиявии хӯлаҳо, ваз.%		Басомадҳои ИК –спектрҳо, см <sup>-1</sup>	Таркиби фазавии маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаҳо
Al	Cd		
100,0	0,0	455,470,525,650,790,1100	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
98,5	1,5	470,525, 650,790,1100 475,950,1050	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
97,0	3,0	460,610,525, 790,1100 485,840,1150,1230	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
95,5	4,5	470,525,650,790,1090 485,840,1190,1230	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
93,5	6,5	470,610,650,1100 475,840,950,1050,1190	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

Ҳам усули таҳлили рентгенӣ ва ҳам усули ИКС дар маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаҳои ин системҳо муқаррар намуданд, ки маҳсулотҳои асосии оксидшавӣ  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CdAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> мебошанд. Иловаҳои кадмий дар ҳудуди таркибҳои таҳқиқотшаванда оксидшавии алюминийро коҳиш медиҳанд, ки он метавонад бо пайдоиши силсилаи  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ва CdAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> алоқаманд бошад, ки норасогии пардаи оксидро кам мекунад ва бо ин васила қобилияти муҳофизатии онро зиёд мекунад. Чунин фикр дар кори [34] низ баён шудааст, ки ҳангоми таҳқиқоти алюминатҳои кадмий дар доираи 600-1300°C танҳо CdAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ҳосил мегардад.

#### **Хусусиятҳои оксидшавии хӯлаҳои алюминий бо сурма.**

Муаллифони [35] диаграммаҳои фазавии системаи алюминий-сурмаро омӯхта, барои таҳқиқот хӯлаҳоро дар доираи васеи концентратсияҳо ҳосил намуданд. Таркиби хӯлаҳо ва натиҷаҳои

таҳқиқотҳо дар чадвали 1.10 ва расмҳои 1.19-1.24 пешниҳод карда шудаанд.

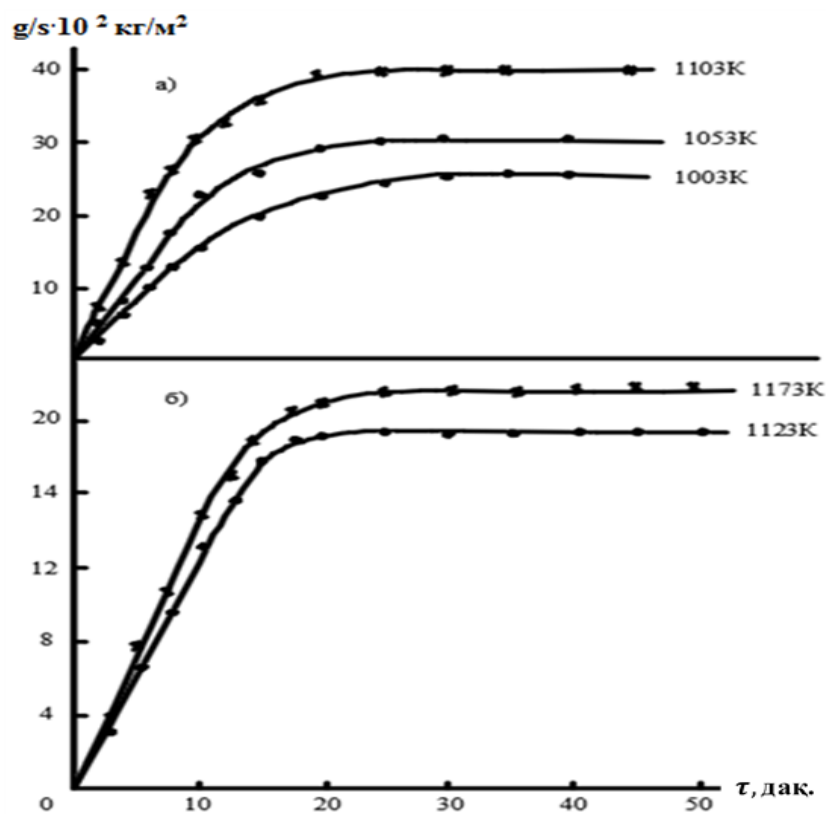
Оксидшавии алюминийи моеъ дар ҳароратҳои 1003, 1053 ва 1103К гузаронида шуд. Качхатиҳои кинетикӣ дар расми 1.19 пешниҳод шудаанд. Бо баланд шудани ҳарорат, зиёдшавии вазни хоси намуна (g/s) дар вобастагӣ аз вақт ( $\tau$ ). мушоҳида мешавад. Дар 15 дақиқаи аввал шадиднок гузаштани раванди оксидшавӣ мушоҳида мешавад, ки дар ин вақт вобастагии g/s- $\tau$  характери росхатарро дорад. Баъдан бо ҳосилшави кабати оксидии муҳофизати иборат аз оксиди алюминий бо қобилияти хуби муҳофизати раванди оксидшавиро бозмедорад ва качҳо шакли параболаро мегиранд. Баъд аз 30-40 дақиқа тағйирёбии вазни хоси намунаҳо мушоҳида намешавад. Суръати оксидшавӣ дар ҳароратҳои таҳқиқшуда мутаносибан  $2.73 \cdot 10^{-4}$ ;  $4.21 \cdot 10^{-4}$  и  $5.78 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·с бо энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ 77,12 кҶ/мол баробар аст (чадвали 3.1).

Хӯлаҳое, ки 0,18 ваз.% сурма доранд, дар ҳарорати 973К ва 1023К ба оксидшавӣ дучор мешаванд. Дар муқоиса бо алюминийи тоза барои ин хӯла қимати баландтари суръати оксидшавии ҳақиқӣ мансуб аст. Бузургии суръати ҳақиқӣ оксидшавӣ дар ҳароратҳои дар боло зикршуда мутаносибан  $5.0 \cdot 10^{-4}$  ва  $6.6 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> аст.

Качхатиҳои кинетикии дар расми 3.2б оварда шуда, ба хӯлаи дорои 10 ваз.% сурма дахл доранд ва бо шадидият зиёдшавии вазни хос дар 15 дақиқаи аввал дар ҳарорати 1173 ва 1123 К тавсиф мешаванд. Зиёдшавии максималии вазн дар ҳарорати 1173 К, 21,3 кг/м<sup>2</sup> аст. Қимати ҳисобшудаи энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ 31,76 кҶ/мол аст.

Качхатиҳои оксидшавии кинетикӣ дар расми 1.20 оварда шуда нишон медиҳанд, ки суръати оксидшавии хӯла, ки 30 ваз.% сурма дорад, ба вобастагии парабола итоат мекунанд. Бо баланд шудани ҳарорат, суръати оксидшавӣ меафзояд. Суръати максималии раванд дар даври аввал қайд карда шуд. Бо мурури замон он суст шуда, ба сифр наздик мешавад. Суръати оксидшавиро аз рӯи тангенсҳои кашидашуда аз

саршавии координатҳо ба қитъаҳои қачхатиҳои таҳқиқотшавадаи ҳисоб карда, аз  $5.2 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  то  $5.8 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  зиёд мегардад.



**Расми 1.9** - Қачхатиҳои кинетикӣ барои оксидшавии хӯлаҳои алюминийи дорои сурма, ваз.‰: 0,0 (а) ва 10,0 (б) [32-А]

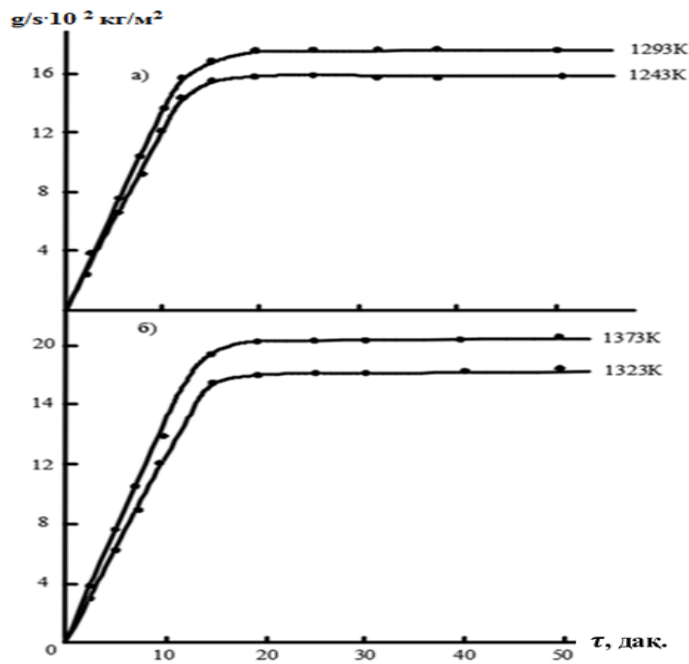
Ҳисоби энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ барои ин хӯла, онро шаҳодат медиҳад, ки раванди оксидшавӣ бо хароҷоти ками энергетикӣ мегузарад (ҷадвали 1.10).

Қачхатиҳои оксидшавӣ барои хӯлаи дорои 50 ваз.‰ сурма бо гузашти вақт тағйирёбии массаро тавсиф намуда, дар расми 3.3б ҷойгир карда шудаанд, ки шакли параболаро доро буда, ҳангоми оксидшавӣ дар як вақт, тағйирёбии массаи намуна, ки ба сатҳ ворид мешавад ба 14-20  $\text{кг/м}^2$  баробар аст. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ дар ҳарорати 1323 К дорои қимати  $5.9 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , ва дар ҳарорати 1373 К то  $7,01 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  меафзояд. Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ дар ин ҳолат 54,76 кҶ/мол аст.

**Ҷадвали 1.10 - Параметрҳои кинетикии раванди оксидшавии  
хӯлаҳои моеъи алюминий-сурма**

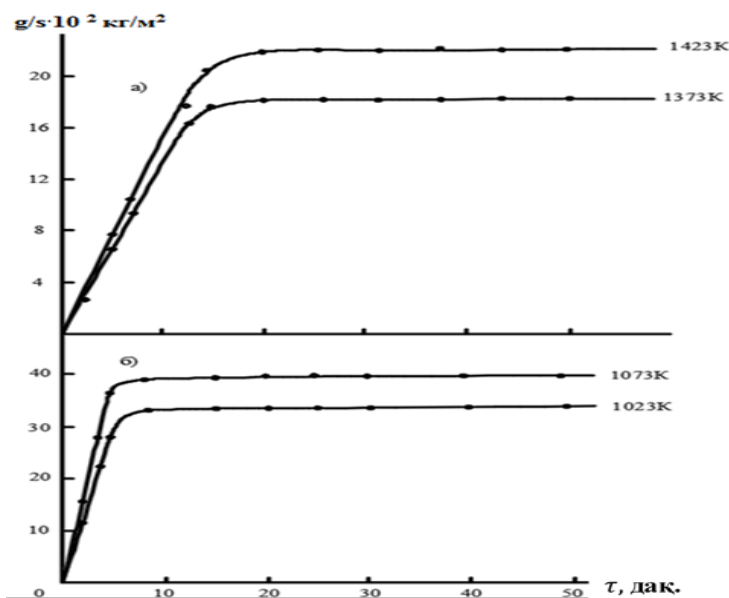
Миқдори сурма дар алюминий, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ, К·10 <sup>-4</sup>	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, Q кҶ/мол
0,0	1003	2.73	77.12
	1053	4.21	
	1103	5.78	
0.18	973	5.0	47.62
	1023	6.6	
10.0	1123	4.16	31.76
	1173	5.0	
30.0	1243	5.2	38.4
	1293	5.8	
50.0	1323	5.9	54.76
	1373	7.01	
70.0	1373	5.4	51.41
	1423	6.3	
100.0	1023	11.6	95.72
	1073	16.8	

Хӯлаи аз сурма бой (70 мас.%) дар ҳароратҳои 1373 К ва 1423 К оксид карда шуд. Қачхатиҳои кинетикӣ динамикаи ташаккулёбии пардаи оксидиро бо мурури замон тавсиф мекунанд, дар расми 1.21 оварда шудаанд. Оксидшавии интенсивии хӯла дар 15 дақиқаи аввал мушоҳида мешавад ва қачхатиҳо намуди хати ростро доро мегарданд. Минбаъд нигоҳдории намуна, дар ҳароратҳои таҳқиқотшаванда дар ҳаво ба зиёдшавии назарраси вазн оварда намерасонад.



**Расми 1.20** - Качхатиҳои кинетикӣ барои оксидшавии хӯлаҳои алюминийи дорои сурма, ваз. %: 30,0 (а) ва 50,0 (б)

Оксидшавӣ аз рӯи механизми пардаҳои ғафс гузашта ва ба қонуни парабола итоат мекунад. Суръати ҳақиқии оксидшавӣ дар ин ҳароратҳо мутаносибан  $5,4 \cdot 10^{-4}$  ва  $6,3 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  аст, энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ ба 51,41 кҶ/мол баробар мебошад.

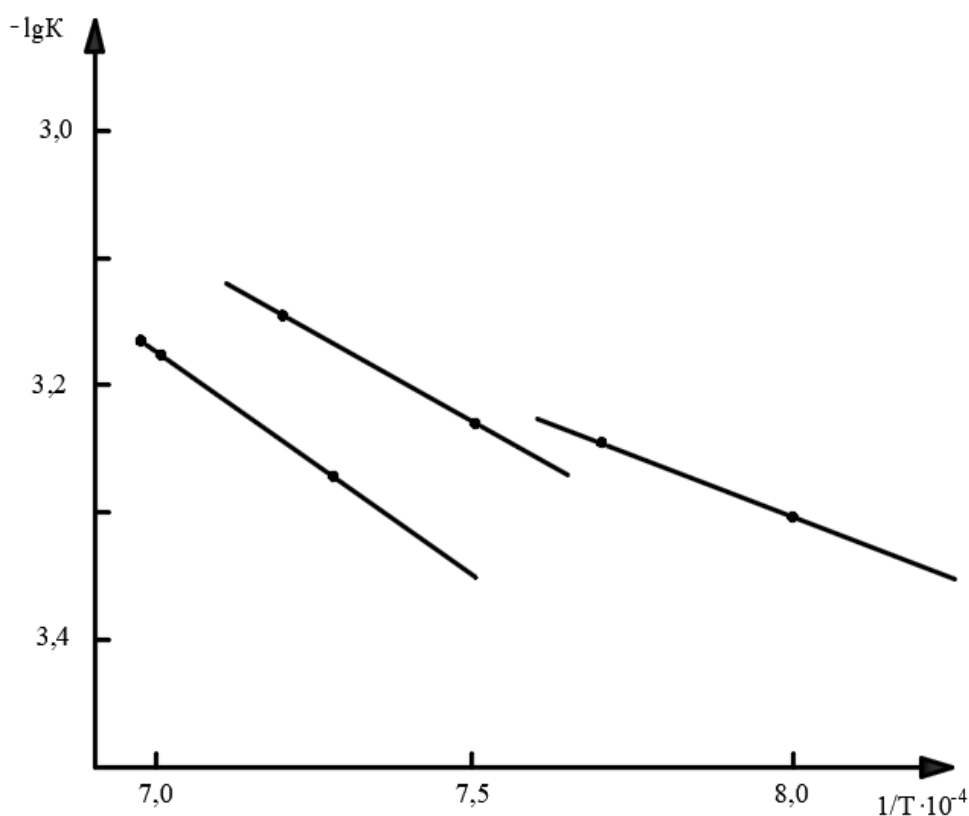


**Расми 1.21** - Качхатиҳои кинетикӣ барои оксидшавии хӯлаҳои алюминийи дорои сурма, ваз. %: 70,0 (а) ва 100,0 (б)

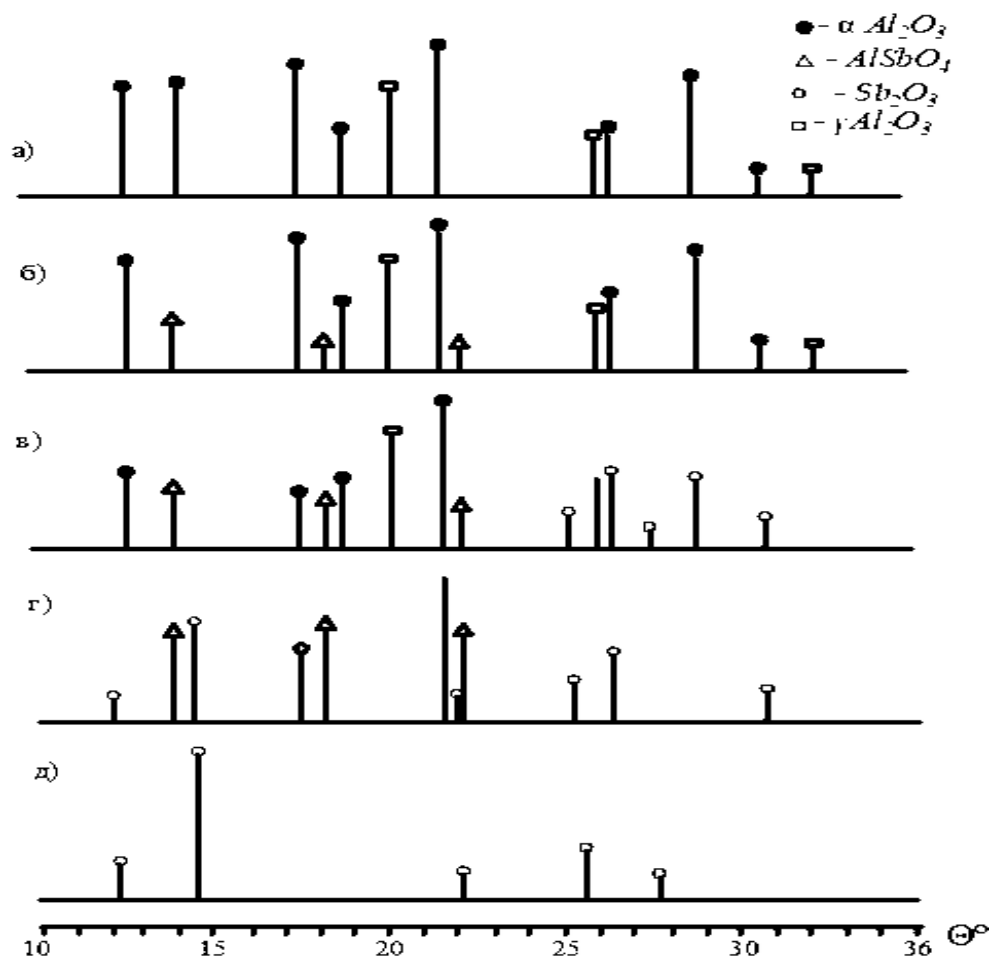


Хусусияти характерноки қачхатиҳои кинетикии оксидшавии сурмаи тоза дар ҳароратҳои 1023К ва 1073К ин якбора зиёд шудани вазни хос дар марҳилаҳои аввали оксидшавӣ мебошад (расми 1.21). Вобастагии графикаи вазнинии хос аз вақт дар аввал бо хати рост тавсиф мешавад. Қачхатиҳои ҳосилшуда нишон медиҳанд, ки пардаи дар сатҳи гӯдохта пайдошуда ҳанӯз ба қадри кофӣ ғафс нест, ки гӯдохтаро аз оксидшавӣ муҳофизат кунад. Суръати оксидшавӣ дорои қиматҳои нисбатан баланд буда, дар ҳароратҳои 1023К ва 1073К мутаносибан  $11.6 \cdot 10^{-4}$  ва  $16.8 \cdot 10^{-4}$  кг.м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> мебошанд.

Дар расми 1.22 вобастагии  $\lg K - 1/T$  барои ҳулаҳои системаи алюминий - сурма оварда шуда, механизмҳои дар боло баррасишудаи оксидшавии ҳулаҳои алюминийро бо сурма тасдиқ мекунад, яъне. раванди оксидшавӣ ба қонуни парабола итоат мекунад.



Расми 1.22 - Вобастагии  $\lg K$  аз  $1/T$  барои ҳулаҳои системаи алюминий-сурма: 1-30,0. 2-50,0: 3-70,0 ваз.% сурма

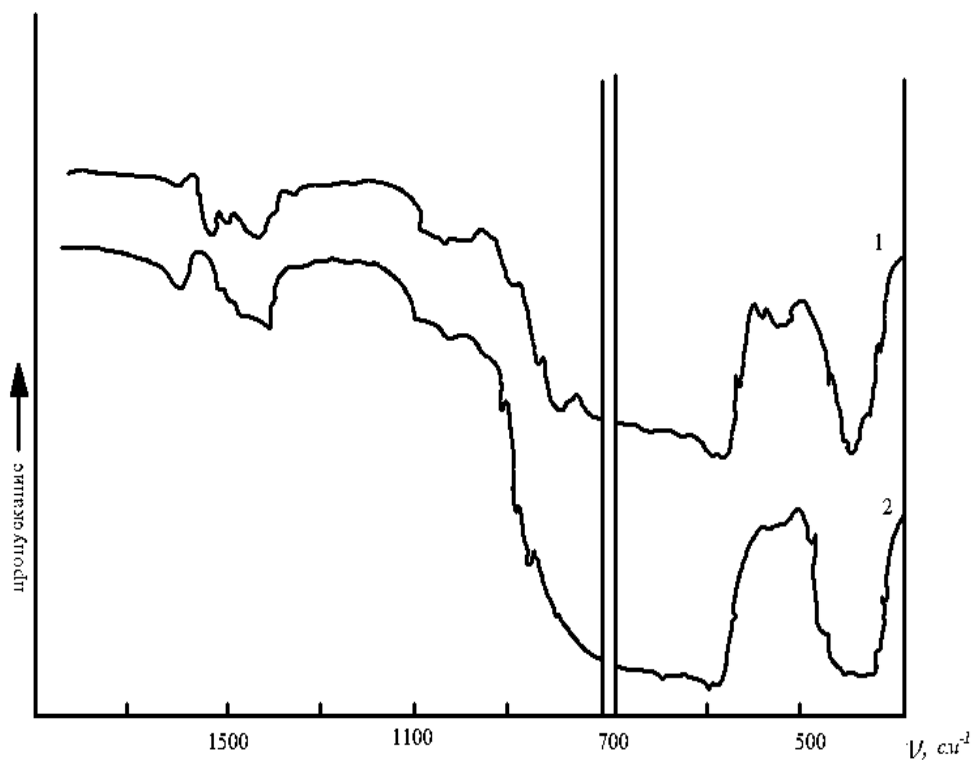


Расми 1.23 - Штрих-дифрактограммаҳои оксидшавии маҳсулотҳои хӯлаҳои системаи алюминий-сурма, миқдори сурма, ваз. % а-0,0; б-10; дар -30; г-50; д-100

Таркиби фазавии маҳсулотҳои оксидшавии хӯлаҳо тавассути усулҳои рентгенӣ ва спектроскопияи инфрасурх муайян карда шуд. Штрих-дифрактограммаҳои баъзе намунаҳо дар расми 1.23 оварда шудаанд.

Дар рентгенограмма дар доираи кунҷҳои 3,71; 1,41 инъикосҳо бо интенсивнокии хело заиф (камтар аз 3%) муайян шуданд, ки бо сабаби миқдори нокифояи инъикос рамзкушоии онҳо ғайри имконпазир аст. Чи тавре ки аз расм дида мешавад, маҳсулотҳои асосии оксидшуда  $\gamma$  ва  $\alpha$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  ва  $\text{AlSbO}_4$  мебошанд. Натиҷаҳои таҳлили фазаҳои рентгенӣ ва ИК-спектроскопия нишон медиҳанд, ки хӯлаҳои алюминий-сурма ҳам аз таркиби химиявӣ ва ҳам аз ҳарорат вобастаанд. Баъзе спектрҳои бо

усули ИКС ҳосил кардашуда, дар расми 1.24 оварда шудаанд, ки дар онҳо тасмаҳои абсорбсиони 463, 497-510, 600,465, 1090  $\text{cm}^{-1}$  ба фазаҳои  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ва 440, 540, 580 ва 690  $\text{cm}^{-1}$  ба фазаҳои  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  тааллуқ доранд.



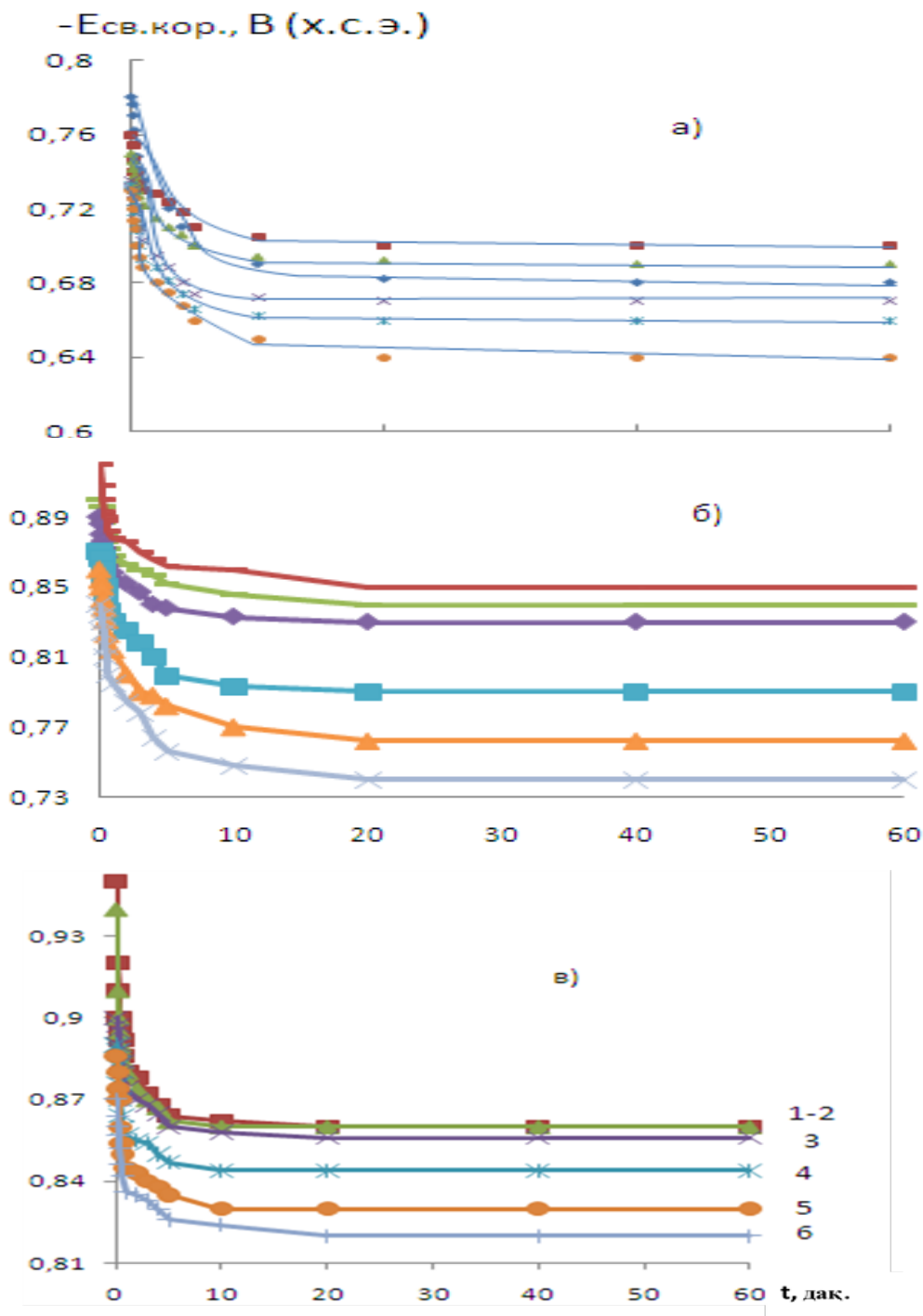
**Расми 1.24** - ИК-спектрҳои маҳсулотҳои оксидшудаи хӯлаҳои алюминий-сурма, миқдори сурма 1-30; 2—50 ваз.%

#### **1.4. Рафтори анодии хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма**

*Рафтори анодии хӯлаҳои алюминий-калсий.* Натиҷаҳои таҳқиқотҳои овардашуда шаҳодат медиҳанд, ки дар дақиқаҳои аввали ғутонидан хӯлаи АЖ2.18 аз миқдори калсий дар маҳлули электролити  $\text{NaCl}$  якбораи тағйирёбии потенциал ба минтақаи мусбат ба амал меояд. Дар хӯлаҳои бо калсий муътадилшавии потенциали зангзанӣ дар давоми 30-40 дақиқа мушоҳида мешавад. Динамикаи тағйирёбии потенциали зангзании озод дар муҳити концентратсияҳои гуногуни электролити  $\text{NaCl}$  ба ҳам монанданд. (ҷадвали 1.11, расми 1.25) [34].

**Ҷадвали 1.11 - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (-E<sub>оз.зан.</sub>, В) хӯлаи алюминийи АЖ2.18 аз миқдори калсий, дар муҳити 3,0%-и NaCl**

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори калсий дар хӯла, ваз. %					
	0.0	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0.950	0.940	0.900	0.890	0.886	0.870
1/8	0.920	0.910	0.897	0.888	0.880	0.864
1/4	0.910	0.900	0.895	0.882	0.874	0.860
1/2	0.900	0.895	0.890	0.876	0.870	0.857
1	0.896	0.890	0.888	0.870	0.860	0.852
2	0.892	0.888	0.884	0.864	0.854	0.846
3	0.886	0.884	0.880	0.860	0.850	0.842
4	0.880	0.880	0.874	0.857	0.845	0.836
5	0.878	0.874	0.870	0.855	0.843	0.835
10	0.872	0.870	0.868	0.854	0.840	0.833
15	0.868	0.867	0.865	0.850	0.838	0.830
20	0.864	0.862	0.860	0.847	0.835	0.826
30	0.862	0.860	0.858	0.844	0.830	0.824
40	0.860	0.860	0.856	0.844	0.830	0.820
50	0.860	0.860	0.856	0.844	0.830	0.820
60	0.860	0.860	0.856	0.844	0.830	0.820



**Расми 1.25** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди хӯлаи АЖ2.18 дорои калсий, ваз.‰: 0 (1), 0.005 (2), 0.01 (3), 0.05 (4), 0.1 ( 5) , 0,5(6), дар муҳити электролитҳои: 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3%-и (в) NaCl

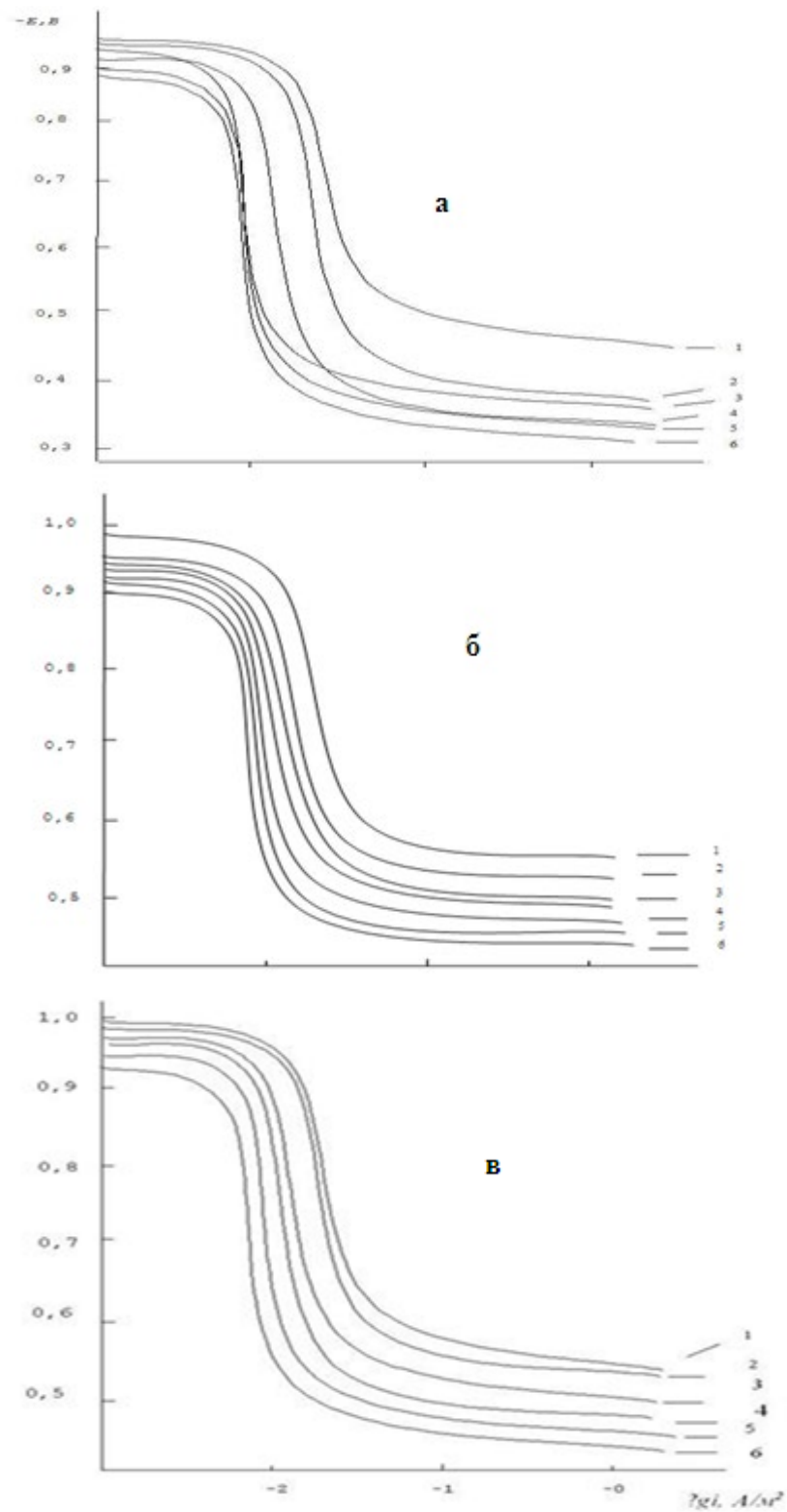
Тадқиқотҳо нишон медиҳанд, ки иловаҳои калсий дар ҳудуди 0,005-0,5 ваз.‰ ба тағйирёбии потенциали зангзании озод ба минтақаи мусбат дар ҳама муҳитҳои электролити NaCl омӯхташуда, мусоидат мекунад.

Бинобар ин, потенциалҳои питингҳосилшавӣ ва репассиватсия низ ба минтақаи қиматҳо мусбат мегузаранд (Ҷадвали 1.12).

**Ҷадвали 1.12** - Характеристикаҳои зангзани-электрохимиявӣ хӯлаи АЖ2.18, бо калсий модификатсия шуда, дар муҳити электролити

NaCl

Муҳити NaCl ваз.%. Микдори калсий дар хӯла, ваз.%. 0.03 0.3 3.0	Потенциалҳои электрохимиявӣ В (х.с.э.)					Суръати коррозия	
		-E <sub>оз.зан</sub>	-E <sub>зан</sub>	-E <sub>п.о</sub>	-E <sub>рп</sub>	i <sub>кор</sub> ·А/м <sup>2</sup>	К·10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·час
0.03	-	0.680	0.960	0.484	0.580	0.130	4.35
	0.005	0.700	0.950	0.350	0.480	0.125	4.19
	0.01	0.690	0.936	0.340	0.460	0.120	4.02
	0.05	0.670	0.920	0.320	0.440	0.115	3.85
	0.1	0.660	0.900	0.320	0.430	0.113	3.79
	0.5	0.640	0.880	0.300	0.420	0.110	3.69
0.3	-	0.850	0.978	0.560	0.600	0.160	5.36
	0.005	0.840	0.960	0.520	0.580	0.148	4.96
	0.01	0.830	0.954	0.520	0.573	0.135	4.52
	0.05	0.790	0.940	0.480	0.530	0.130	4.35
	0.1	0.770	0.920	0.460	0.520	0.127	4.25
	0.5	0.762	0.900	0.450	0.520	0.122	4.08
3.0	-	0.860	0.994	0.600	0.620	0.170	5.70
	0.005	0.860	0.990	0.560	0.610	0.165	5.53
	0.01	0.856	0.988	0.520	0.580	0.156	5.22
	0.05	0.844	0.968	0.500	0.550	0.150	5.02
	0.1	0.830	0.950	0.470	0.540	0.145	4.86
	0.5	0.820	0.920	0.460	0.520	0.130	4.35



**Расми 1.26** - Качхатиҳои поляризатсияи потенциодинамикии анодии (2мВ/с) хӯлаи алюминийи АЖ2.18, дорои калсий, ваз.‰: 0(1), 0.005(2), 0.01(3), 0.05(4), 0.1(5), 0,5(6), дар электролитҳои 3,0‰; 0,3‰; 0,03‰-и NaCl

Суръати зангзании хӯлаҳои дорои 0,005-0,5% калсий нисбат ба хӯлаи ибтидоии алюминийи АЖ2.18 қариб 1,5 маротиба камтар аст (ҷадвали 1.12). Иловаҳои калсий ба хӯлаи АЖ2.18 барои паст кардани суръати зангзании анодӣ кӯмак мекунад, ки ин аз ҷойивазшавии қачхатиҳои анодии хӯлаҳои ҷавҳаронидашуда ба минтақаи потенциалии мусбаттар шаҳодат медиҳад (расми 1.26). Бинобар ин бо баробари зиёд шудани консентратсияи хлорид-ион дар электролит NaCl, суръати зангзании хӯлаҳо новобаста аз миқдори компоненти ҷавҳаронидашуда зиёд мешавад, ки лағжиши якҷояи потенциалҳои зангзанӣ, питингҳосилшавӣ, ва репассиватсия ба минтақаи мусбат рӯй медиҳанд.

Бояд қайд кард, ки дар маҷмӯъ, бо зиёдшавии консентратсияи хлорид-ион 10 маротиба (0,03% ва 0,3% NaCl) ва 100 маротиба (0,03% ва 3% NaCl) потенциали питингҳосилшавӣ хӯлаи ибтидоии АЖ2.18 ва хӯлаҳои бо калсий ҷавҳаронидашуда ба минтақаи қиматҳои манфӣ мегузаранд. Ҳамин тариқ, барои хӯлаи ибтидоии АЖ2.18, ҳангоми гузариш аз консентратсияи 0,03% ба 0,3% ва 3%-и NaCl,  $E_{п.о.}$  мутаносибан -0,484 В, -0,560 В ва -0,600 В мебошад. Потенсиали зангзании озод (потенсиали статсионарӣ) ва потенциали зангзанӣ бо ҳамин тариқ тағйир меёбанд. Ҳамин тариқ, зиёдшавии консентратсияи хлорид-ион ба афзоиши зангзании питингҳосилшавии хӯлаҳо мусоидат мекунад, ки ин аз бузургии суръати зангзании анодии хӯлаҳо шаҳодат медиҳад. Ҳамин тавр, агар суръати зангзании хӯлаи ибтидоӣ дар муҳити 0,03%-и NaCl -0,130 А/м<sup>2</sup> бошад, пас дар муҳити 3% NaCl -0,170 А/м<sup>2</sup> аст (ҷадвали 1.12) [34, 120].

*Рафтори анодии хӯлаҳои алюминий бо кадмий.* Таъсири кадмийро ба устувории зангзании алюминий дар маҳлулҳои кислотагӣ ва ишқорӣ муаллифони [34] таҳқиқот намуданд. Натиҷаҳои таҳқиқотҳои гузаронидашуда шаҳодат медиҳанд, ки дар дақиқаҳои аввали ба маҳлули электролити NaCl гӯдохтани хӯла, яқбора ҷойивазшавии потенциал ба минтақаи мусбат ба амал меояд. Дар хӯлаҳои дорои кадмий,



мутадилшавии потенциали зангзанӣ дар давоми 30-40 дақиқа мушоҳида мешавад. Динамикаи тағйирёбии потенциали зангзании озод дар муҳити концентратсияҳои гуногуни электролити NaCl якхела аст (ҷадвали 1.13).

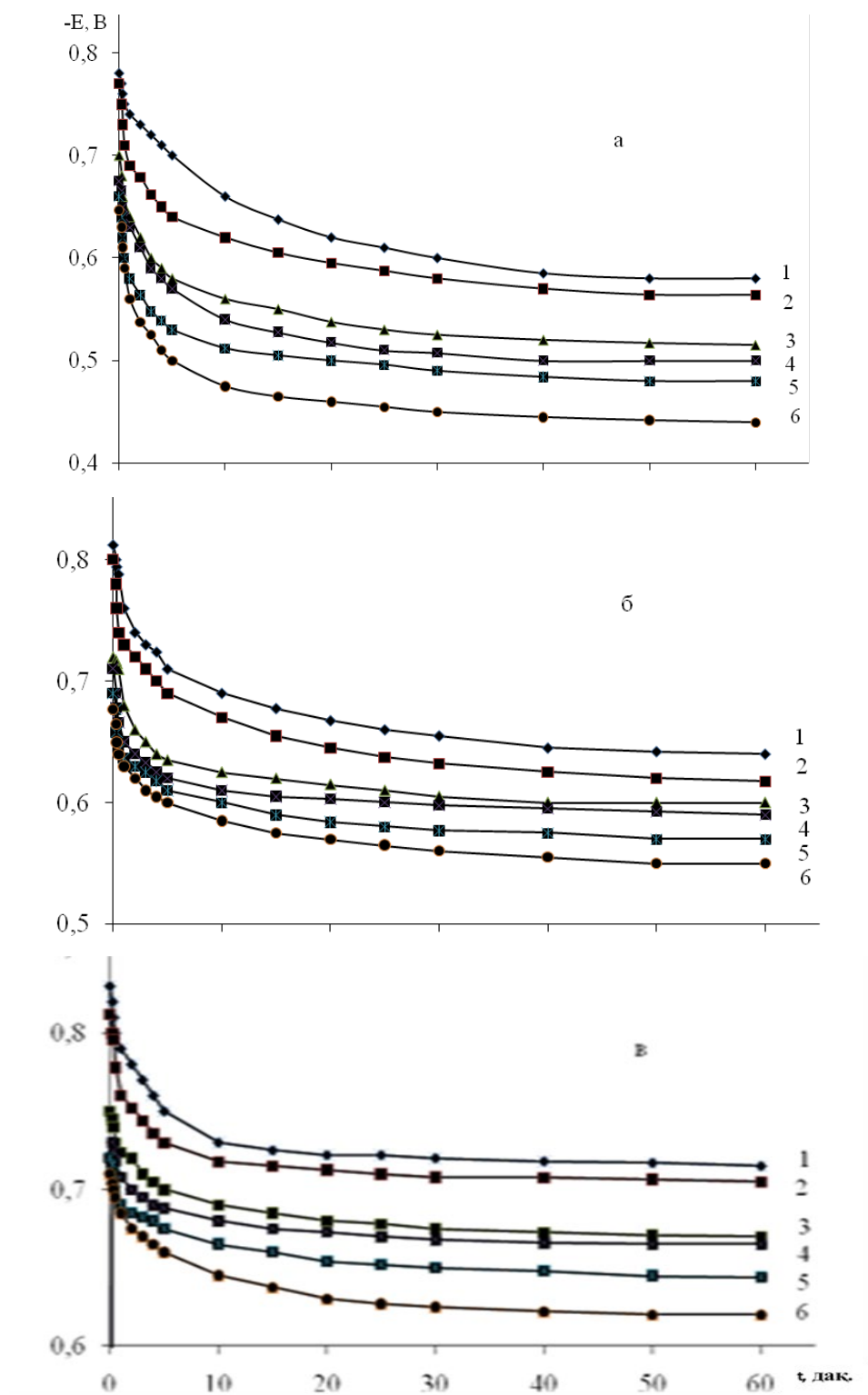
**Ҷадвали 1.13** - Хосиятҳои электрохимиявӣ ҳулаҳои алюминий-кадмий дар маҳлули электролити 3%-и NaCl бо суръати гардиши потенциалии 10 мВ/с [36]

Миқдори кадмий дар алюминий, % вазнӣ	Хосиятҳои электрохимиявӣ						
	-E <sub>стац.</sub> за 1 час	-E <sub>н.п.</sub>	-E <sub>п.п.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>р.п.</sub>	i <sub>н.п.</sub>	i <sub>п.п.</sub>
	В					мА/см <sup>2</sup>	
0	0,991	1,65	1,40	0,680	0,730	0,80	0,20
0,005	0,986	1,55	1,45	0,840	0,880	0,82	0,23
0,01	0,986	1,56	1,45	0,840	0,880	0,83	0,23
0,05	0,986	1,56	1,44	0,840	0,880	0,85	0,24
0,1	0,985	1,55	1,44	0,850	0,890	0,88	0,24
0,2	0,985	1,55	1,44	0,850	0,890	0,90	0,24
0,4	0,970	1,55	1,45	0,850	0,890	0,92	0,24
0,6	0,955	1,56	1,45	0,850	0,890	1,93	0,26
0,8	0,940	1,56	1,45	0,850	0,890	0,95	0,26
1,0	0,920	1,58	1,45	0,890	0,900	1,04	0,26
1,5	0,918	1,58	1,45	0,890	0,900	1,10	0,30
2,5	0,898	1,57	1,45	0,890	0,900	1,23	0,30
5	0,858	1,58	1,45	0,890	0,900	1,34	0,30
7	0,801	1,58	1,45	0,890	0,900	1,35	0,31

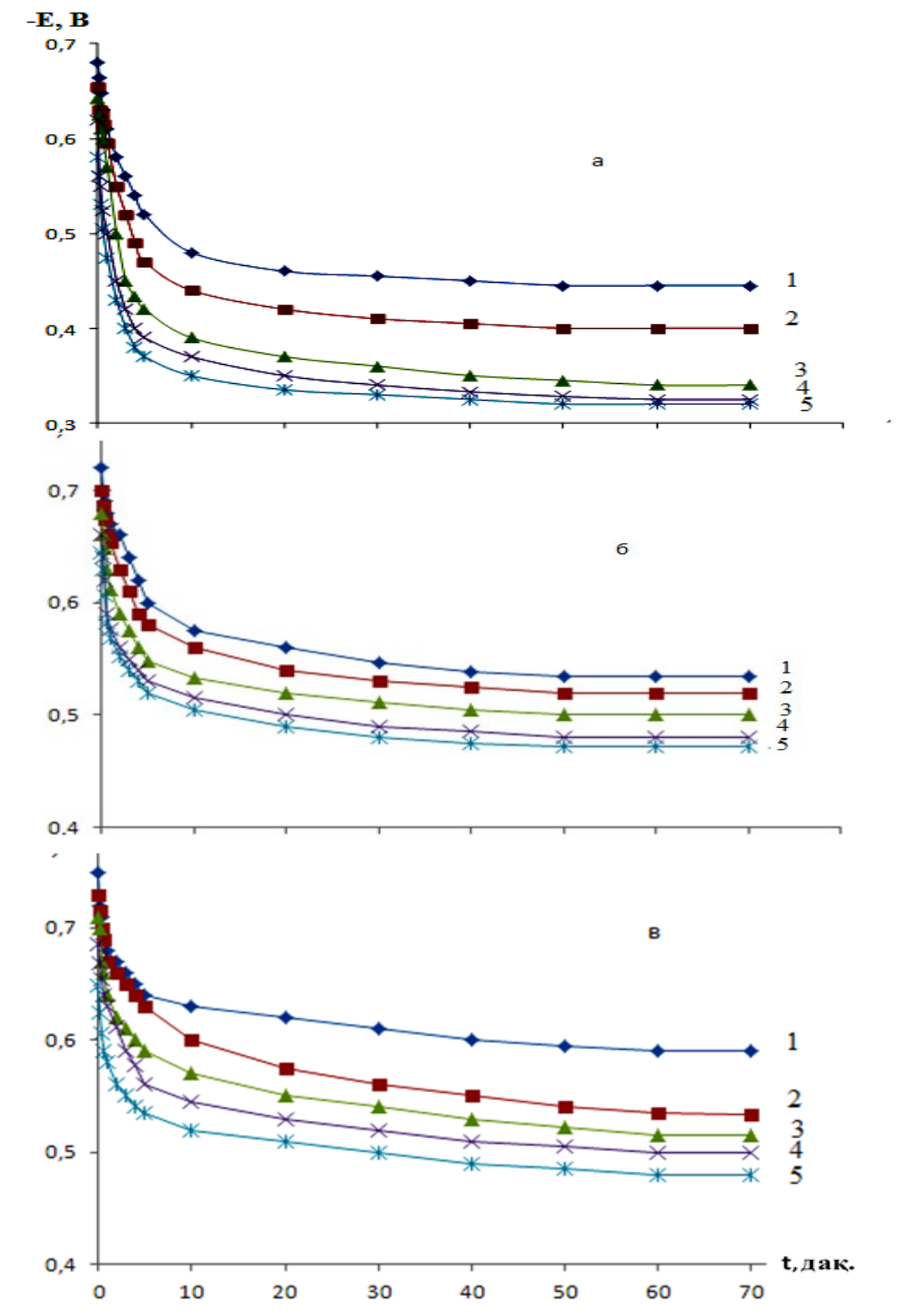
*Рафтори анодии хӯлаҳои алюминий бо сурма.* Коркарди электрохимиявии ҷузъҳои мошинҳо ва таҷҳизотҳо бештар дар маҳлулҳои намакҳои нейтралӣ гузаронида мешавад. Дар зер маълумотҳои таҷрибавӣ оид ба рафтори анодии хӯлаҳои алюминий АК12 ва АК12М2, бо сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳудудҳои гуногуни потенциалҳои анодӣ, оварда шудаанд [35].

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои электрохимиявии хӯлаҳои алюминийи АК12 ва АК12М2, бо сурма ҷавҳаронидашуда, дар расмҳои 1.27-1.30 ва дар ҷадвалҳои 1.14 ва 1.15 пешниҳод шудаанд. Чунон ки аз расмҳои 1.27 ва 1.30 дида мешавад, бо пастшавии консентрасияи электролит, яъне камшавии консентрасияи хлорид-ион потенциали зангзании озоди хӯлаҳои АК12 ва АК12М2, бо сурма ҷавҳаронидашуда, ба минтақаи нишондиҳандаҳои мусбӣ мегузарад. Яқбора тағйирёбии потенциал дар 5 дақиқаи аввал аз оғози ғутонидани электрод мушоҳида мешавад [35].

Муътадилшавии потенциали зангзании озод пас аз 40-50 дақиқа аз оғози ғутонидани электрод ба маҳлули электролит мушоҳида мешавад, ки ин аз пассившавии хӯла ва пайдо шудани пардаи оксидии муҳофизатӣ дар сатҳи он шаҳодат медиҳад. Бинобар ин дар хӯлаи ҷавҳаронидашуда устуворшавии хӯлаҳо ду маротиба тезтар, дар давоми 25-30 дақиқа сурат мегирад, ки ин аз суръати нисбатан баланди пассиватсияи онҳо дар зери таъсири иловаҳои сурма шаҳодат медиҳад. Ҳамин тавр, баъди як соати нигоҳдорӣ дар маҳлули электролити 0,03%-и NaCl, потенциали зангзании хӯлаи ҷавҳаронидашуда -0,58 В аст, вале барои хӯлаи АК12-и дар таркибаш 1 ваз% сурма -0,44 В аст [35].



**Расми 1.27** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.е) зангзании озоди хӯлаи алюминийи АК12 (1), миқдори сурма, ваз. %: 0,01 (2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5); 1,0(6), дар муҳити электролитҳои 0,03%(а), 0,3%(б) ва 3%-и (в) NaCl [35]



**Расми 1.28** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.е) зангзании озоди хӯлаи алюминийи АК12М2 (1), миқдори сурма: 0,05 (2); 0,05(3); 1,0(4); 3,0(5) дар муҳити электролитҳои (а) 0,03%, (б) 0,3% ва (в) 3%-и NaCl [35]

**Чадвали 1.14 - Тағйирёбии потенциали озоди зангзании хӯлаҳои алюминии АК12 ва АК12М2 бо сурма чавҳаронидашуда, аз концентратсияи электролити NaCl [35]**

Микдори сурма дар хӯлаҳои АК12 ва АК12М2, ваз. %	- E <sub>п.о.</sub> , В			- E <sub>оз.занг.</sub> , В		
	0.03% NaCl	0.3% NaCl	3% NaCl	0,03% NaCl	0,3% NaCl	3% NaCl
<b>Хӯлаи АК12</b>						
-	0.465	0.551	0.657	0.587	0.647	0.722
0.01	0.443	0.527	0.646	0.571	0.624	0.714
0.05	0.392	0.507	0.625	0.522	0.617	0.677
0.10	0.360	0.487	0.607	0.507	0.597	0.671
0.50	0.329	0.467	0.594	0.487	0.575	0.652
1.0	0.325	0.427	0.587	0.447	0.556	0.627
<b>Хӯлаи АК12М2</b>						
-	0.460	0.500	0.550	0.445	0.534	0.593
0.05	0.440	0.475	0.520	0.400	0.520	0.530
0.50	0.420	0.450	0.500	0.340	0.500	0.515
1.00	0.410	0.430	0.480	0.320	0.480	0.500
3.00	0.400	0.416	0.480	0.320	0.472	0.484

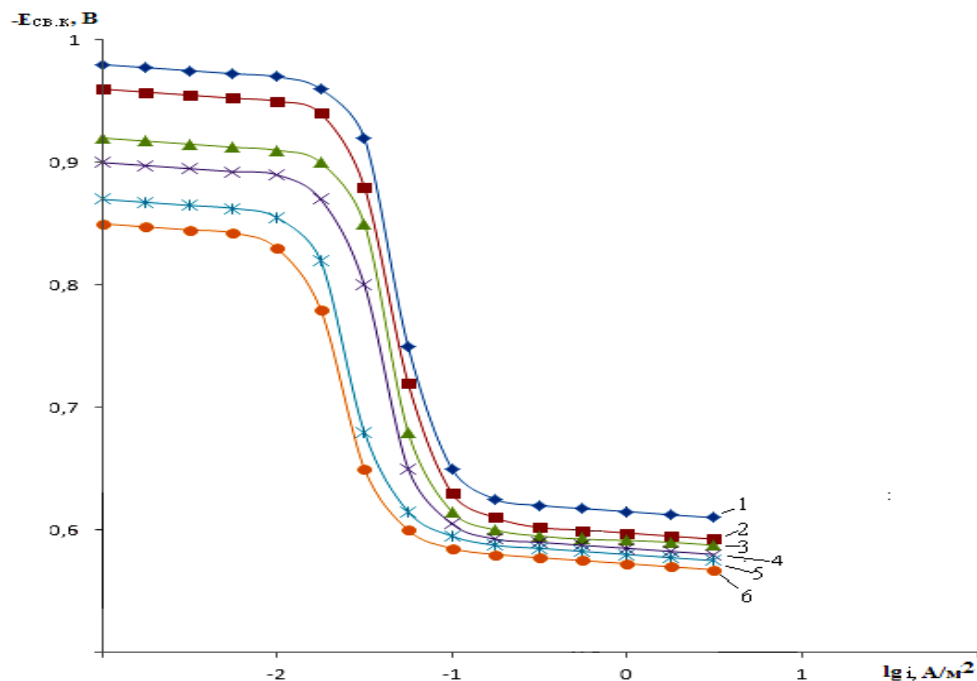
Аз чадвали 1.14 дида мешавад, ки бо зиёд шудани концентратсияи хлорид-ион потенциалҳои зангзанӣ ва питингҳосилшавии хӯлаҳои АК12 ва АК12М2, бо сурма чавҳаронидашуда, кам мешавад, ки ин аз паст шудани устувории зангзании хӯлаҳо аз таъсири хлорид-ион гувоҳӣ медиҳад [35].

Иловаҳои сурма суръати зангзании хӯлаи ибтидоии АК12-ро сарфи назар аз концентратсияҳои электролити NaCl тақрибан се маротиба кам мекунад. Суръати зангзании хӯлаҳои АК12 ва АК12М2 бо зиёд шудани концентратсияи хлорид-ион меафзояд (чадвали 1.15) [35].

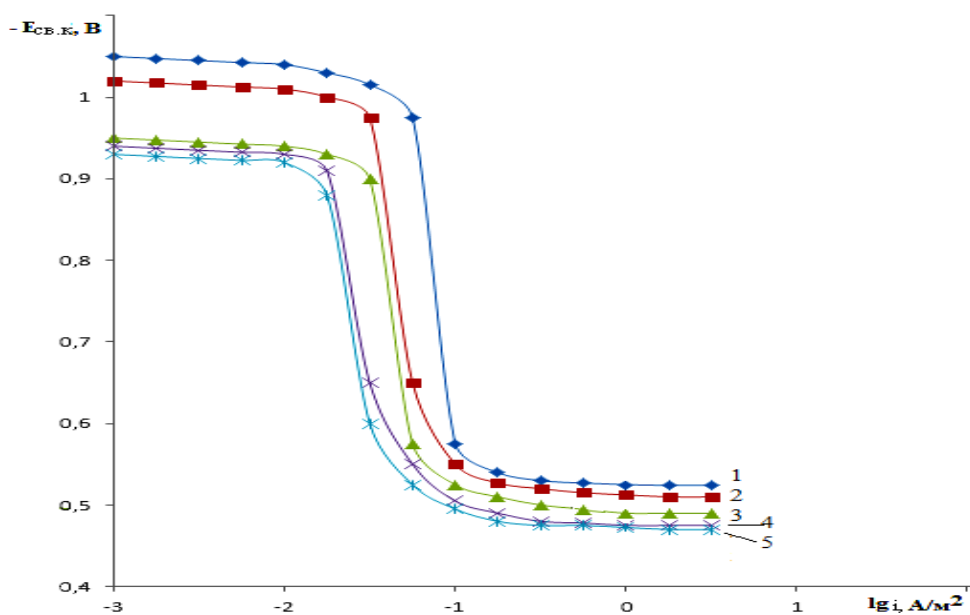
**Қадвали 1.15 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаҳои алюминии АК12 ва АК12М2, бо сурма чавҳаронидашуда аз концентратсияҳои электролит [35]**

Миқдори сурма дар хӯлаҳои АК12 и АК12М2, ваз.%	Суръати коррозия					
	0.03% NaCl		0.3% NaCl		3% NaCl	
	$i_{корр.}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ , г/м <sup>2</sup> ·ч	$i_{корр.}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ , г/м <sup>2</sup> ·ч	$i_{корр.}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ , г/м <sup>2</sup> ·ч
<b>Хӯлаи АК12</b>						
0.0	0.025	8.37	0.032	10.7	0.038	12.7
0.01	0.018	6.03	0.019	6.36	0.020	6.70
0.05	0.014	4.69	0.015	5.02	0.016	5.36
0.10	0.011	3.68	0.013	4.35	0.014	4.69
0.50	0.010	3.35	0.011	3.68	0.013	4.35
1.0	0.009	3.01	0.010	3.35	0.012	4.02
<b>Хӯлаи АК12М2</b>						
0.0	0.017	5.69	0.021	7.04	0.024	8.04
0.05	0.014	4.69	0.015	5.03	0.019	6.36
0.50	0.010	3.35	0.013	4.36	0.014	4.69
1.00	0.009	3.02	0.011	3.69	0.012	4.02
3.00	0.008	2.68	0.009	3.02	0.011	3.69

Паст шудани суръати зангзании хӯлаҳои АК12 ва АК12М2 бо сурма чавҳаронидашуда бо камшавии суръати зангзании анодии хӯлаҳо, бо зиёд шудани концентратсияи кампаненти чавҳаронида шарҳ дода мешавад, ки инро аз шохаҳои анодии қачхатиҳои потенциодинамикӣ дидан мумкин аст, яъне қачхатиҳои марбут ба хӯлаҳои чавҳаронидашуда, дар тарафи чапи хати қачи хӯлаи ибтидои ҷойгир шудаанд (расмҳои 1.29 ва 1.30) [35].



**Расми 1.29** – Качхатиҳои поляризации анодии (2 мВ/с) ҳулаи алюминийи АК12 (1), миқдори сурма, ваз. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5); 1,0 (6) дар муҳити электролити 3,0% NaCl, [35]



**Рисунок 1.30** – Качхатиҳои поляризации анодии (2 мВ/с) ҳулаи алюминийи АК12М2(1), миқдори сурма, ваз. %: 0.05(2); 0.5(3); 1.0(4); 3.0(5) дар муҳити электролити 3,0 % NaCl [35]

Бо зиёд шудани консентратсияи сурма дар ҳулаҳои АК12 ва АК12М2 потенциалҳои зангзанӣ ва пингтингоҳосилшавӣ ба қитъаи мусбат ва бо зиёд шудани консентратсияи хлорид-ион дар электролити

NaCl ба қибаи манфӣ мекӯчанд. Хӯлаҳои бо сурма чавҳаронидашуда, нисбат ба хӯлаи ибтидоии АК12, суръати зангзании камтар доранд. Суръати зангзании хӯлаҳо бо зиёд шудани концентратсияи хлорид-ион дар электролит зиёд мешавад [35].

### 1.5. Хулосаи оид ба боби 1 ва гузоштани масъала

Аз назар гузаронидани адабиётҳо [6, 20, 26-35] оид ба қисми структураҳосилшавӣ ва хосиятҳои физико-химиявии хӯлаҳои алюминий бо калсий, кадмий ва сурма нишон дод, истифодаи онҳо барои хатҳои интиқоли барқ, танай муҳаррикҳои электрикии ва ғайра ояндадор аст. Омӯзиши функсияҳои теплофизикӣ ва термодинамикӣ, кинетикаи оксидшавӣ, тобоварӣ ба зангзании хӯлаҳои дугонаи алюминий дар муҳити фаъол ҳамчун масъалаи муҳим боқӣ мемонад. Таҳлили адабиётҳо шаҳодат медиҳад, ки дар ин самт нисбат ба хӯлаҳои дугона ва сегона тадқиқот нокифоя гузаронида шудааст, хусусан оид ба хӯлаҳои, ки дар ин рисола таҳқиқ карда мешаванд, дар адабиётҳо маълумот пайдо нашудааст. Маълумотҳои адабиётҳо нишон медиҳанд, ки оид ба хосиятҳои физико-химиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма маълумоти кофӣ мавҷуд нест. Кифоя набудани тадқиқотҳо дар ин самт оид ба омӯхтани хосияти хӯлаҳо дар муҳити фаъол ва инчунин ҳангоми истеҳсолоти металлургияи ҳароратӣ гузоштани проблемаи навро талаб мекунад.

Ҳамин тариқ, хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»)-ро бо концентратсияҳои гуногуни калсий, кадмий ва сурма бо истифода аз диаграммаҳои ҳолати ин системаҳо синтез карда, хосиятҳои гуногуни хӯлаҳои синтезшударо санчида, хосиятҳои физико-химиявии онҳоро вобаста ба таркиб, ҳарорат ва табиати муҳити атроф муайян намудан зарур аст.



## **БОБИ 2. ОМУЗИШИ ХОСИЯТҲОИ МЕХАНИКӢ ВА ФИЗИКАВИ-ХИМИЯВИИ ХӢЛАИ АЛЮМИНИИ E-AlMgSi («алдрей»), КИ БО КАЛЬЦИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ЧАВҲАРОНИДА ШУДААНД.**

### **2.1. Нақшаи дастгоҳ ва усули ченкунии гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт**

Алюминий ва хӯлаҳои он дар электротехникаи муосир васеъ истифода мешаванд. Аз бисёр ҷиҳат, ин омил бо арзиши ҳуди металл ва характеристикаҳои техникии он асоснок карда мешавад. Ҳангоми сохтани маводҳои нав, барои кор дар шароити махсусан вазнин муқаррар шуда, вазифаи ба онҳо додани тобоварӣ ба зангзанӣ ба миён меояд, ҳалли амалии он ба дараҷаи дониш дар соҳаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо дар ҳароратҳои баланд алоқаманд аст. Барои бехтар намудани баъзе хусусиятҳои алюминий ба сифати элементҳои чавҳаронида иловаҳои гуногун истифода мешаванд [55,106-107].

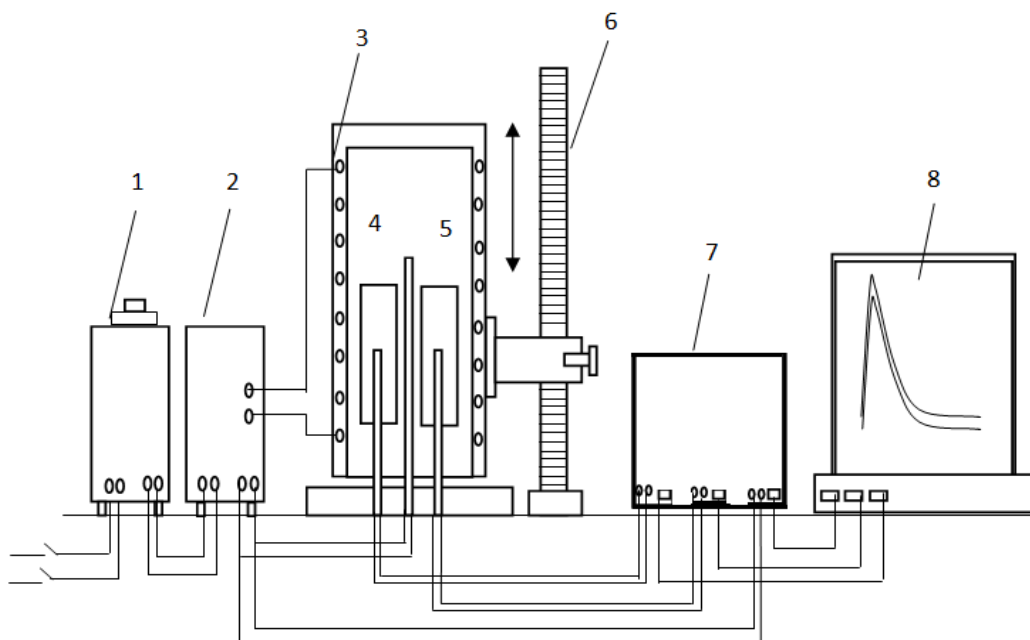
Дар алоқаманди бо ин дар баҳши мазкур, таҳқиқотҳо оид ба таъсири иловаҳои калсий, кадмий ва сурма ба гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») оварда шудаанд. Дар адабиётҳо мо дар бораи хосиятҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронида шудааст маълумот наёфтем [56].

Барои муайян кардани суръати хунуккунӣ қачхатиҳои хунуккунии намунаҳо сохта мешаванд. Қачхатиҳои хунуккунӣ вобастагии ҳароратии намунаро аз вақт, ҳангоми хунукшавии он дар ҳаво ифода мекунанд [55-70]. Синтези хӯлаҳо дар оташдони муқовимати лаборатории ҷохи навъи СШОЛ дар ҳарорати 750 - 800°C гузаронида шуд. Ба сифати шихта дар истеҳсоли хӯлаи алюминийи E-AlMgSi, алюминийи навъи А6 истифода гардида, ба таври иловагӣ миқдоран силитсий ва магний чавҳаронида шудааст. Ҳангоми чавҳаронидани алюминий бо силитсий, силитсийи металлиро (0,1ваз%), ки дар таркиби алюминийи аввалия мавҷуд аст, ба назар мегиранд. Магнийро дар фолгаи алюминий печонида, бо ёрии

зангулача ба гудохтаи алюминий ворид мекунем. Металҳои калсий, кадмий ва сурмаро дар фольгаи алюминий печонда, ба гудохтаи алюминий, дохил менамоем. Таҳлили химиявии хӯлаҳои ҳосилкардаи дорои алюминий, силитсий ва магний дар лабораторияи марказии Корхонаи воҳиди давлатии «Ширкати Алюминийи Тоҷик» гузаронида шуд. Таърифи хӯлаҳо инчунин тавассути баркашидани шихта ва хӯлаҳои ҳосилшуда назорат карда мешавад. Дар сурати фарқи вазни хӯлаҳо аз хӯлаҳои синтез гардида ба андозаи зиёда аз 1-2% бошад, онҳо хӯлаҳои аз нав ҳосил карда мешаванд. Баъдан аз гудохта шлак хориҷ карда мешавад ва намунаҳо барои таҳқиқоти хосиятҳои теплофизикӣ ба қолаби графитӣ рехта мешаванд. Намунаҳои шакли цилиндрӣ диаметри 16 мм ва дарозии 30 мм доранд [57].

Ченкунии гармиғунҷоиш дар дастгоҳи [70-78] гузаронида мешавад, ки нақшаи он дар расми 2.1 пешниҳод карда шудааст. Оташдонӣ электрикӣ (3) дар меҳварӣ (6) васл гардида, ба боло ва поён ҳаракат карда метавонад (тирча самти ҳаракатро нишон медиҳад). Намуна (4) ва эталон (5) (низ метавонад кӯчонида шавад) цилиндрҳои дарозиишон 30 мм ва диаметрашон 16 мм бо каналҳои пармашудае, ки дар як қанори онҳо термопарҳо (4 ва 5) гузошта шудаанд пешниҳод карда шудаанд. Охири термопарҳо ба термометри рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7) пайваст карда мешаванд. Оташдони электрикӣ (3) ба воситаи автотрансформатори лабораторӣ (ЛАТР) (1) ба қор андохта, ҳарорати дилхоҳро бо ёрии танзимгари ҳарорати (2) муқаррар мекунем. Мувофиқи нишондоди термометри рақамии «Digital Multimeter DI9208L» (7) қимати ҳарорати ибтидоӣ муқаррар карда мешавад. Намуна ва эталонро ба оташдони электрикӣ ворид карда, то ҳарорати зарурӣ гарм менамоем, ҳароратро бо нишондодҳои термометри рақамии «Digital Multimeter DI9208L» дар компютер (8) назорат мекунем. Намунаҳо ва эталон дар як вақт аз оташдони электрикӣ бароварда мешаванд ва аз ҳамин лаҳза ҳароратро қайд мекунем. Нишондодҳои термометри рақамии Multimeter

DI9208L-ро дар компютер баъди ҳар як 10 сония, то хунукшавии ҳарорати намуна ва эталон аз 30<sup>0</sup>C пастар сабт мекунем.



**Расми 2.1 - Нақшаи дастгоҳ барои муайян кардани гармиғунҷоиши ҷисмҳои сахт**

Коркарди натиҷаҳои ҷеншуда бо ёрии барномаи MS Excel гузаронида мешаванд. Графикҳо бо ёрии барномаи Sigma Plot сохта шудаанд. Қимати коэффисиенти коррелятсия  $R_{\text{корр}} > 0,9929$  аст, ки интихоби дурусти функсияи наздиккуниро тасдиқ мекунад.

Барои ҷен кардани гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаҳо дар ҳудудҳои васеи ҳарорат қонуни хунуккунии Нютон-Рихман истифода мешавад. Агар ду намунаҳои металлии шакли якхеларо гирифта, дар як ҳарорат хунук кунем, онгоҳ аз  $r_{\text{ӯи}}$  вобастагии ҳарорати намунаҳо аз вақт (қаҷхатиҳои хунуккунӣ) бо дониستاني гармиғунҷоиши эталон, гармиғунҷоишӣ дигар намунаро ёфтан мумкин аст. [109-116]

## **2.2. Хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда**

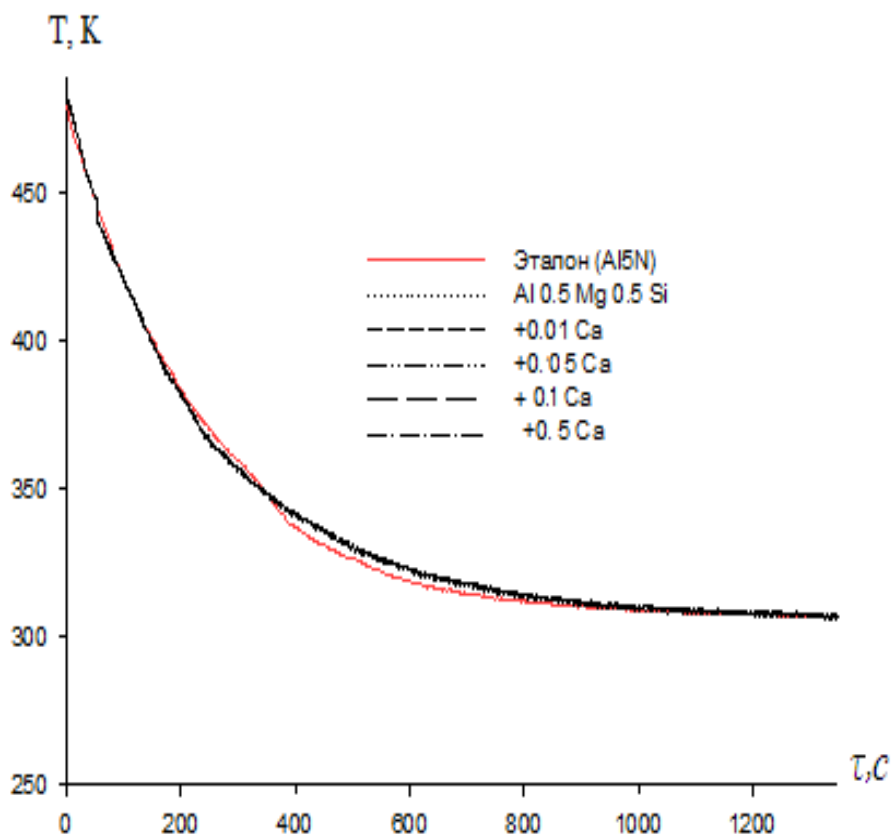
Барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо иловаҳои калсий ҷавҳаронида, бузургии гармиғунҷоиш муайян карда мешавад. Муайянкунӣ бо усули «хунуккунӣ» гузаронида шуда, ба сифати

намунаи эталон алюминийи навъи А5N истифода гардид, ки гармигунҷоиши он дар маҳзанҳои адабиётҳо оварда шудааст [3, 15-17-М].

Дар натиҷаи гузаронидани сикли таҷрибаҳо барои ҳӯлаи ноқили дар асоси алюминий E-AlMgSi («алдрей»), бо иловаҳои калсий ҷавҳаронидашуда, вобастагии ҳарорат аз вақт ба даст оварда шуда (расми 2.2), ба ифодаи зерин мувофиқат мекунад:

$$T = ae^{-bt} + pe^{-kt}, \quad (2.1)$$

ки дар ин ҷо  $a, b, p, k$  – const,  $\tau$  – вақти хунукшави намуна.



**Расми 2.2** - Таъсири вақти хунуккунӣ ( $\tau$ ) бо ҳарорати намунаҳои аз ҳӯлаи ноқилии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Барои муайян кардани қимати суръати хунукшавии намунаҳои дидашаванда ифода (2.1)-ро нисбат ба  $\tau$  дифференсиронида ифодаи зеринро ҳосил намудем:

$$dT/dt = -abe^{-bt} - pke^{-kt}. \quad (2.2)$$

Бевосита аз ифодаи (2.2) барои намунаҳои хӯлаи гузаронандаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо иловаҳои калсий ҷавҳаронида шудааст, суръати хунукшавии онҳо дар расми 2.3 нишон дода шудааст. Қимати бузургиҳои коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  аз ифодаи (2.2) барои намунаҳои хӯлаҳои омӯхташуда дар ҷадвали 2.1 оварда шудааст.

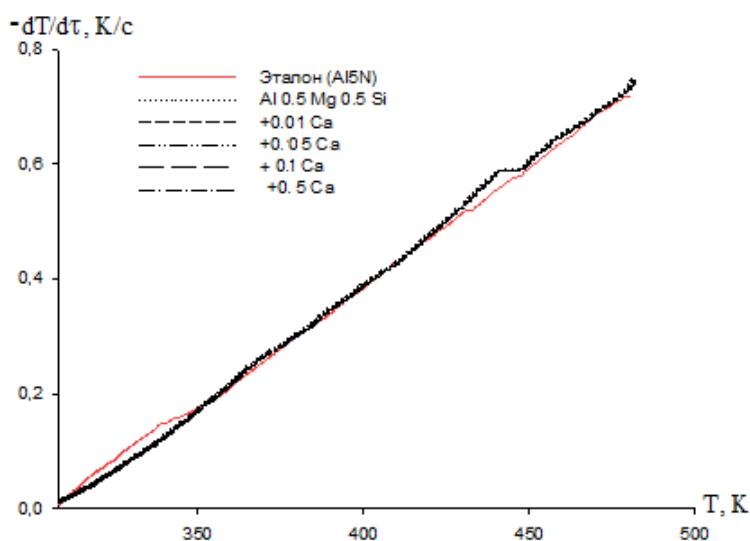
Зинаи навбатӣ ҳисобкунии гармиғунҷоиши хоси хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда мебошад. Аз рӯи намунаи эталон (Al тамғаи A5N) бо ҳисоби пешакӣ бузургии суръати хунуккунии намунаҳо аз хӯлаҳо аз рӯи ифодаи (2.2), мувофиқи ифодаи зерин ҳисобкунҳо гузаронида мешавад:

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (2.3)$$

где  $m_1 = \rho_1 V_1$  – массаи намунаи эталон;  $m_2 = \rho_2 V_2$  – масса намунаи

омӯхташаванда;  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$  – намунаҳои таҳқиқшаванда ва эталон

суръати хунукшавии онҳо;  $C_{P_1}^0$  – бузургии гармиғунҷоиши эталон.



**Расми 2.3** - Вобастагии вақти хунуккунии ( $t$ ) аз ҳарорат барои намунаҳо аз хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

Усули регрессияи полиномӣ таъсири ҳароратро ба бузургии гармиғунҷоиши хос барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда, мувофиқи ифодаи зерин муайян мекунем:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (2.4)$$

Қиматҳои коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  аз ифодаи (2.4) дар ҷадвали 2.2 нишон дода шудаанд.

**Ҷадвали 2.1** - Қиматҳои коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  аз ифодаи (2.2) барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар хӯла, мас%	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^{-1}$	$p, K$	$k \cdot 10^{-5}, c^{-1}$	$ab \cdot 10^{-1}, Kc^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}, Kc^{-1}$
0.0	165,61	4,46	314,72	2,27	7,38	7,14
0.01	165,46	4,46	315,59	2,32	7,38	7,31
0.05	165,46	4,46	315,49	2,32	7,38	7,31
0.1	159,23	4,46	315,69	2,32	7,38	7,31
0.5	159,23	4,46	316,19	2,31	7,38	7,31
Эталон	174,88	4,11	305,62	3,2	7,19	1,00

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои гармиғунҷоиши хӯлаҳои таҳқиқшаванда баъди ҳар 50 К мувофиқи ифодаи (2.3) дар ҷадвали 2.3 ва расми 2.4 пешниҳод карда шудаанд. Тавре ки аз ҷадвал ва расм дида мешавад, қимати гармиғунҷоиш барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар вобастагӣ аз миқдори калсий дар он, тамоюли камшавӣ доранд. Гармиғунҷоиши хӯлаҳо бо зиёдшавии ҳарорат зиёд мешавад. Аз рӯи қимматҳои ҳисобкардаи гармиғунҷоиши хос барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ва бузургиҳои суръати хунуккунӣ, ки дар натиҷаи таҷриба барои хӯлаҳои таҳқиқшаванда ба

даст омад, коэффисиенти гармидиҳӣ ва вобастагии он аз ҳарорати хӯлаҳо мувофиқи ифодаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$\alpha = \frac{C_p^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S} . \quad (2.5)$$

ки дар ин ҷо  $T$  ва  $T_0$  ҳарорати намунаҳо мувофиқи муҳити атроф;  $S$ ,  $m$  - масоҳати сатҳ ва массаи намунаҳо.

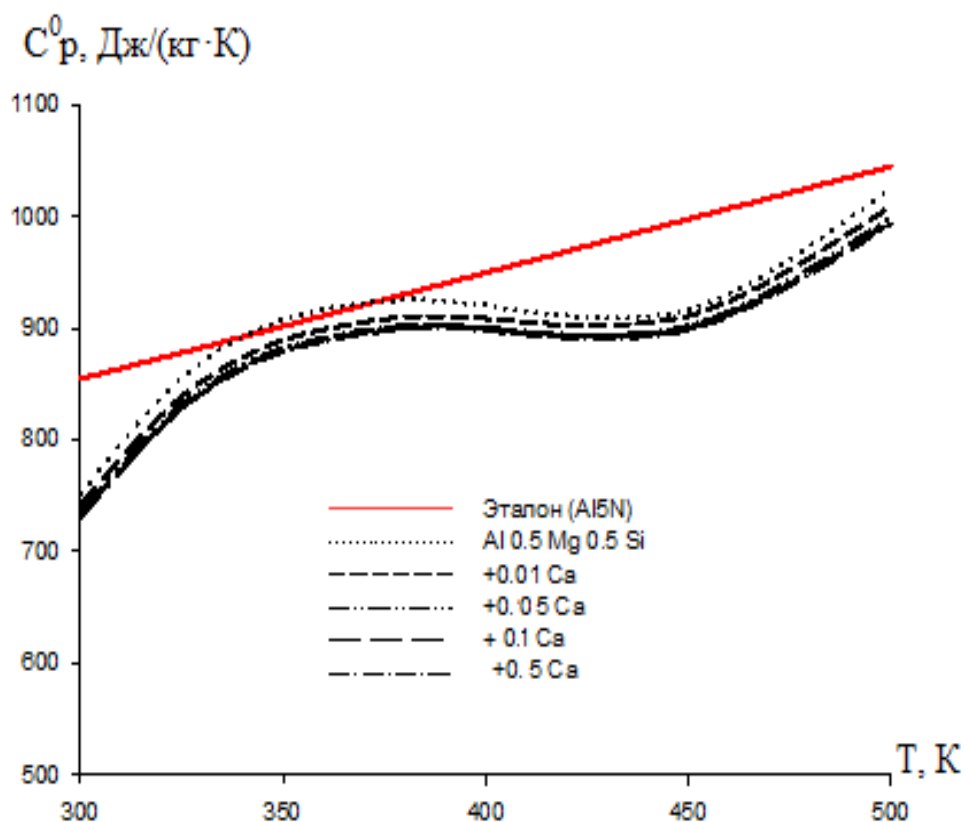
Таъсири ҳарорат ба коэффисиенти гармидиҳӣ барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда, дар расми 2.5 нишон дода шудааст.

**Ҷадвали 2.2** - Қиматҳои коэффитсиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  аз ифодаи (2.4) барои намунаҳои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

Миқдори калсий дар хӯла, ваз%	$a$ , Ҷ/(кг•К)	$b$ , Ҷ/(кг•К <sup>2</sup> )	$c$ , Ҷ/(кг•К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^4$ , Ҷ/(кг•К <sup>4</sup> )	Коэффисиенти коррелясия R
0.0	-10400,00	84,29	-0,2084	1,71	0,9925
0.01	-9093,58	74,00	-0,1821	1,49	0,9999
0.05	-9093,54	73,93	-0,1821	1,49	0,9984
0.1	-9143,96	74,22	-0,1824	1,49	0,9970
0.5	-9143,43	74,22	-0,1824	1,49	0,9978
Эталон	645.88	0.35	0.00	0.00	1.0

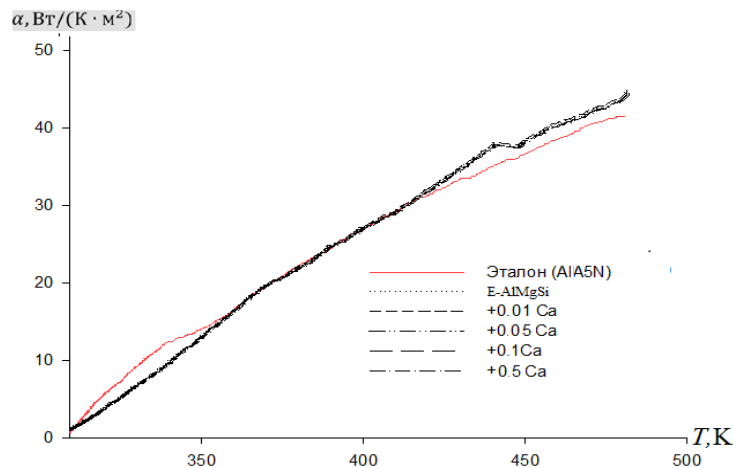
**Ҷадвали 2.3** – Гармиғунҷоиши хоси ((кҶ/(кгК)) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Концентрация калсий дар хӯла, ваз%	Т, К				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.01	741,80	889,15	908,26	910,86	1008,72
0.05	735,68	882,01	900,09	901,67	998,50
0.1	731,31	880,06	889,07	900,07	994,83
0.5	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57



**Расми 2.4** – Гармиғунҷоиши хоси хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)





**Расми 2.5** – Коэффициенты гармидиҳии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

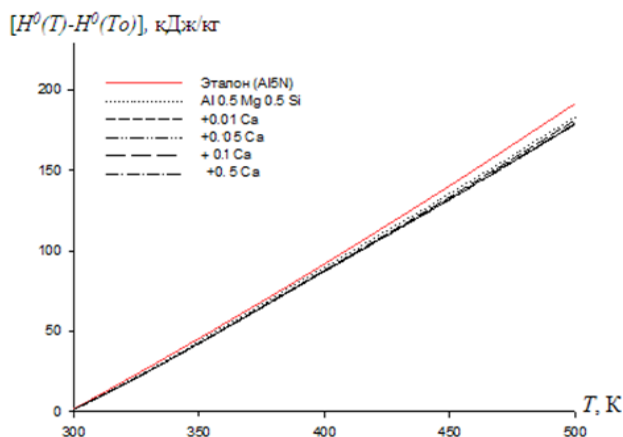
Таъсири ҳарорат ба тағйирёбии характеристикаҳои термодинамикӣ (энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс) аз руи [27] - (2.9) бо роҳи интегронидани бузургиҳои гармигунҷоиш хос, ки дар боло бо ифодаи (2.4) ҳисоб карда шудаанд, гузаронида шуд:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{\alpha}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (2.6)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (2.7)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)]. \quad (2.8)$$

Дар ин ҷо  $T_0 = 298,15 \text{ K}$ .

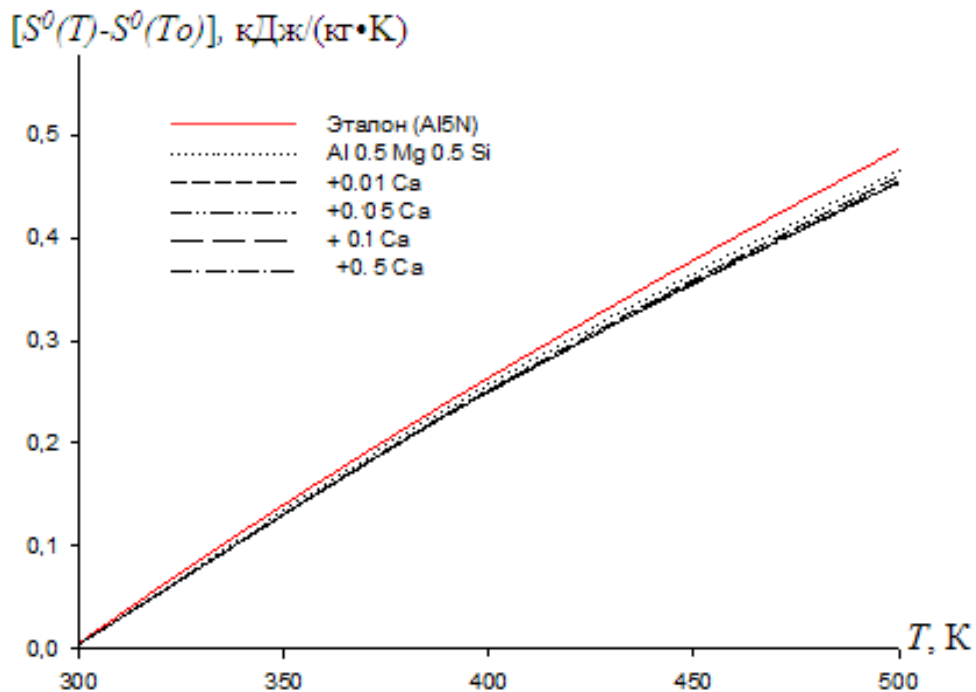


**Расми 2.6** - Тағйирёбии энталпияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат

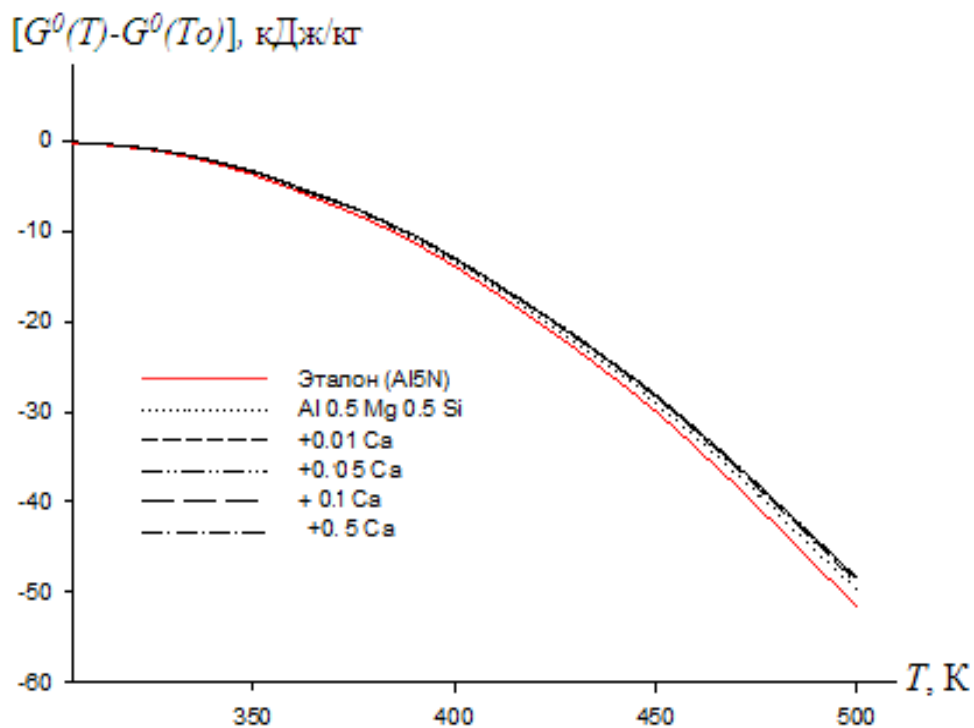
Бузургиҳои ҳисобкардашудаи қиматҳои функсияҳои термодинамикӣ дар ҷадвали 2.4 ва дар расмҳои 2.6-2.8 пешниҳод карда шудаанд.

**Ҷадвали 2.4 -** Харақаристикаҳои термодинамикии хӯлаи ноқили  
 алюминийи E-AlMgSi ("алдрей"), бо калсий чавҳаронидашуда ва эталон  
 (Al тамғаи А5N)

Миқдори калсий дар хӯла, ваз %	Т, К				
	300	350	400	450	500
	[ $H^0(T)-H^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2480
0.01	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2466
0.05	1,3561	42,7136	87,8881	133,3547	181,1382
0.1	1,3483	42,5050	87,3866	132,3243	179,2370
0.5	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
[ $S^0(T)-S^0(T_0^*)$ ], кҶ/(кг•К) барои хӯлаҳо					
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.01	0,00453	0,1317	0,2523	0,3594	0,4600
0.05	0,00450	0,1311	0,2509	0,3567	0,4555
0.1	0,00450	0,1308	0,2504	0,3560	0,4544
0.5	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
[ $G^0(T)-G^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо					
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.01	-0,00419	-3,39812	-13,0562	-28,4015	-48,8891
0.05	-0,00416	-3,3810	-12,9889	-28,2344	-48,5457
0.1	-0,00415	-3,37229	-12,9578	-28,168	-48,4288
0.5	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629
* $T_0=298,15$ К.					



Расми 2.7 - Тағйирёбии энтропияи хўлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат



Расми 2.8 - Тағйирёбии энергияи Гиббси хўлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат

### 2.3. Хосиятҳои теплофизикӣ ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий [18-M]

Вобастагии ҳарорати намунаҳо аз вақтро (расми 2.9а) бо роҳи таҷрибавӣ ҳосил намуда, бо муодилаи (2.1) [56, 78] ифода менамоем. Аз рӯи муодилаи (2.2) суръати хунукшавии намунаҳои хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий ҷавҳаронида, ҳисоб карда шуда, дар расми 2.9б пешниҳод шуданд. Қиматҳои коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  дар муодилаи (2.3) барои хӯлаҳои таҳқиқшуда дар ҷадвали 2.5 оварда шудаанд.

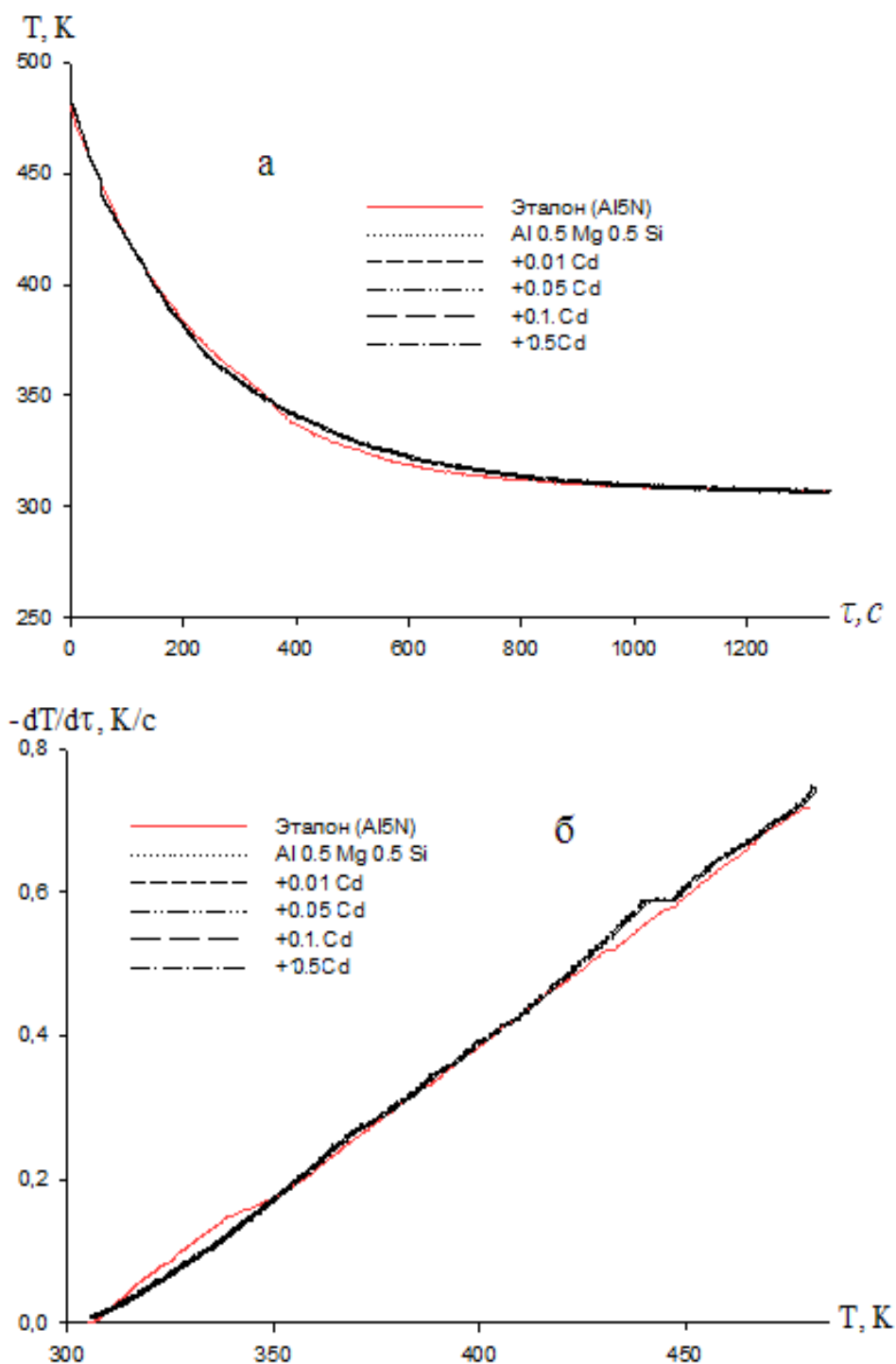
**Ҷадвали 2.5** - Қимати коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  аз муодилаи (2.2) барои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий ҷавҳаронида ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори кадмий дар хӯла, мас%	$a, K$	$b \cdot 10^3, c^1$	$p, K$	$k \cdot 10^5, c^1$	$ab \cdot 10^1, Kc^1$	$pk \cdot 10^3, Kc^1$
0.0	165,61	4,46	314,72	2,27	7,38	7,14
0.01	165,46	4.46	314,89	2,32	7,38	7,31
0.05	165,46	4.46	314,99	2,32	7,38	7,31
0.1	165,46	4.46	315,89	2,31	7,38	7,31
0.5	165,46	4.46	315,79	2,31	7,38	7,31
Эталон	174,88	4,11	305,62	3,2	7,19	1,00

Баъдан, аз рӯи қиматҳои ҳисобкардаи бузурги суръати хунукшавии намунаҳо, мувофиқи муодилаи (2.3), гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий ҷавҳаронида ва эталон (Al тамғаи А5N) ҳисоб карда мешавад.

Регрессияи полиноми гузаронида, муодилаи зерини шакли (2.4)-ро барои вобастагии ҳарорати ҳоси гармиғунҷоиши хӯлаи алюминий E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий ҷавҳаронида ҳоси намудем. Қиматҳои

коэффициентҳои a, b, c, d дар муодилаи (2.4) дар ҷадвали 2.6 оварда шудаанд.



**Расми 2.9** - Графики вобастагии ҳарорат аз вақт (а) ва суръати хунуккунӣ аз ҳарорат (б) барои намунаҳои ҳулаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

**Чадвали 2.6** - Қиматҳои коэффициентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  аз муодилаи (2.4) барои намунаҳои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурб чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

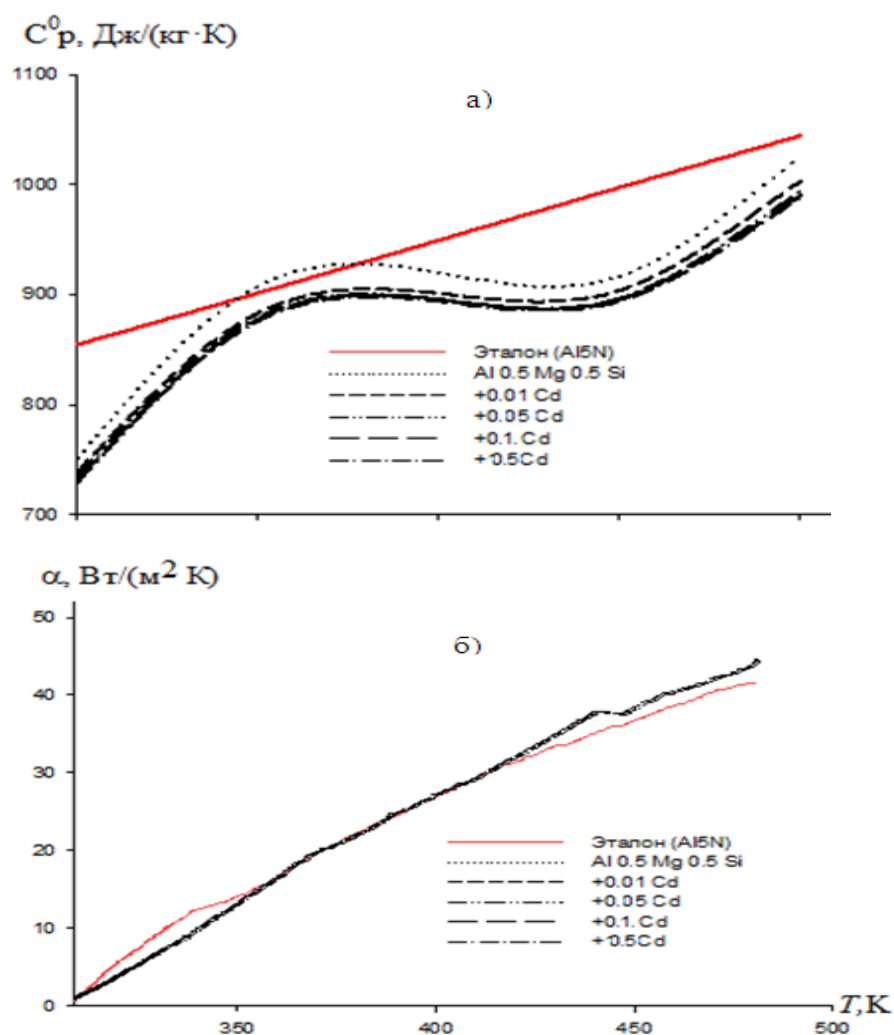
Миқдори кадмий дар хӯла, ваз.%	$a$ , Ч/(кг·К)	$b$ , Ч/(кг·К <sup>2</sup> )	$c$ , Ч/(кг·К <sup>3</sup> )	$d \cdot 10^{-4}$ , Ч/(кг·К <sup>4</sup> )	Коэффициенти коррелятсия R
0.0	-10400.00	84.29	-0,2084	1,71	0.9925
0.01	-9047,52	73,75	-0,18	1,49	0.9999
0.05	-9056,37	73,80	-0,18	1,49	0.9950
0.1	-9122,59	74,12	-0,18	1,49	0.9969
0.5	-9123,98	74,12	-0,18	1,49	0.9970
Эталон	645.88	0.35	0.00	0,00	1.0

**Чадвали 2.7** - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши ( $k$ Ч/(кг·К) хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори кадмий дар хӯла, ваз.%	T, K				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.01	738,90	883,34	901,04	903,73	1003,18
0.05	735,77	879,42	895,82	896,72	993,87
0.1	731,03	877,92	895,57	895,71	990,11
0.5	729,39	876,24	893,85	893,95	988,31
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57

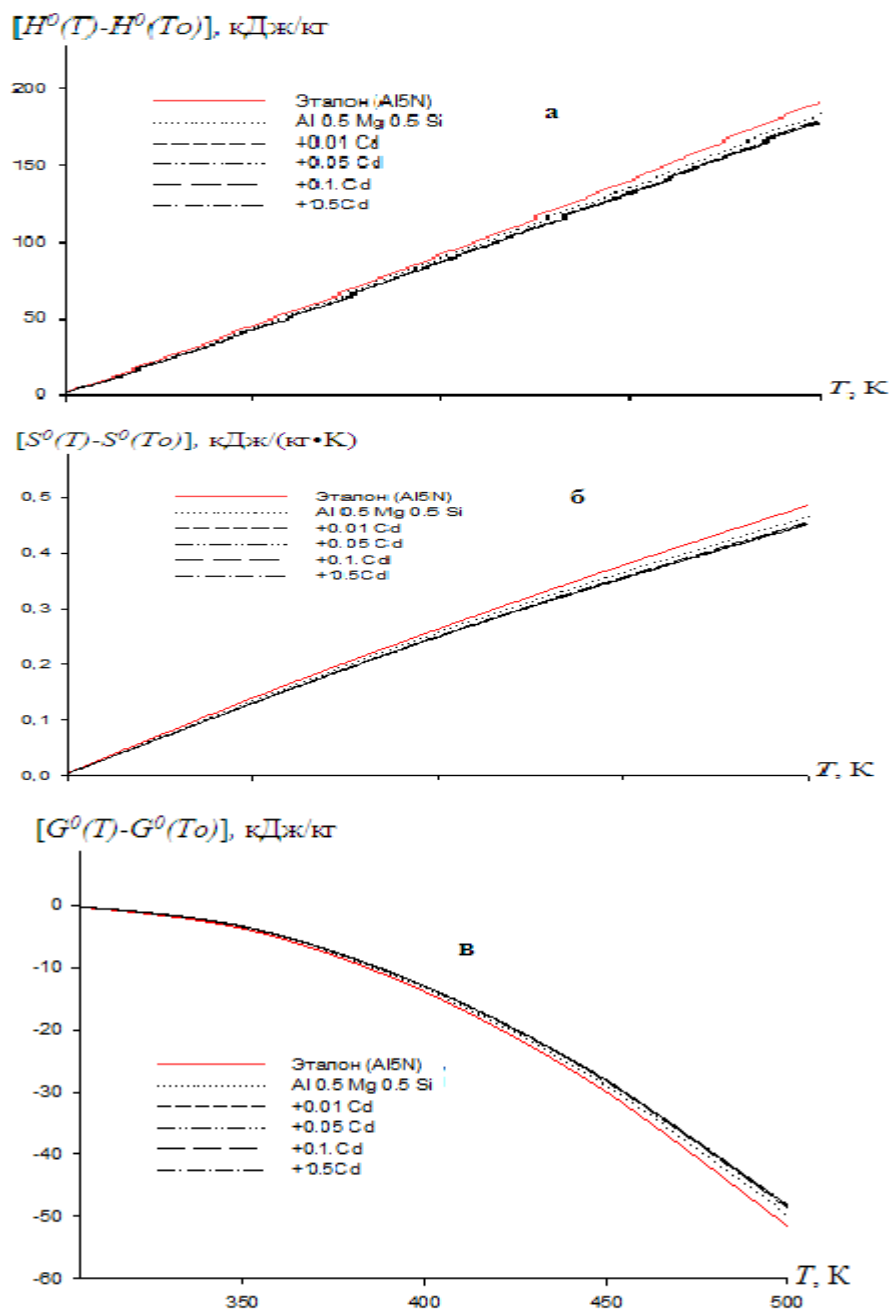
Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои гармиғунҷоишҳои хӯлаҳо аз рӯи формулаи (2.3) баъди 50 К дар расми 2.10а ва чадвали 2.7 пешниҳод карда шудаанд. Гармиғунҷи хӯлаҳо аз ҳарорат зиёд шуда, ва аз

концентратсияи кадмий дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») кам мешавад. Бо истифода аз қиматҳои гармигунҷоиши хоси хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмийи ҷавҳаронидашуда ва қиматҳои таҷрибавӣ ба даст омада, суръати хунукшавии намунаҳо, вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо муодилаи (2.5) ҳисоб карда мешавад. Вобастагии ҳароратии коэффисиентҳои гармидиҳӣ барои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурб ҷавҳаронидашуда дар расми 2.10 б пешниҳод карда шудаанд.



**Расми 2.10** - Вобастагии ҳароратии гармигунҷоиши хос (а) ва коэффисиенти гармидиҳии (б) хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий ва эталон (Al тамғаи A5N)

Барои ҳисоб кардани вобастагиҳои ҳарорати тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс аз рӯи муодилаҳои (2.6)-(2.8) интегралҳои аз гармигунҷоиши хос мувофиқи муодилаи (2.4) истифода карда шуд. Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои вобастагиҳои ҳарорати тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс баъди 50 К дар ҷадвали 2.8 ва расми 2.11 пешниҳод шудаанд.



**Расми 2.11** - Тағйирёбии ҳарорати энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббси (в) ҳулаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат



Ҷадвали 2.8 - Вобастагии харорати тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори кадмий дар хӯла, ваз.%	Т.К				
	300	350	400	450	500
	[ $H^0(T)-H^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2480
0.01	1,3584	42,6755	87,5805	132,5296	179,5666
0.05	1,3527	42,4957	87,1743	131,8198	178,4509
0.1	1,3438	42,3390	86,9821	131,6044	178,1245
0.5	1,3408	42,2530	86,8112	131,3465	177,7776
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
[ $S^0(T)-S^0(T_0^*)$ ], кҶ/(кг•К) барои хӯлаҳо					
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.01	0,00454	0,1316	0,2515	0,3574	0,4564
0.05	0,00452	0,1310	0,2503	0,3555	0,4537
0.1	0,0045	0,1306	0,2498	0,3549	0,4529
0.5	0,0045	0,1303	0,2493	0,3542	0,4520
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
[ $G^0(T)-G^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо					
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.01	-0,0042	-3,3981	-13,0354	-28,3111	-48,6588
0.05	-0,0041	-3,3839	-12,9788	-28,1793	-48,4129
0.1	-0,0041	-3,3685	-12,9356	-28,1057	-48,3024
0.5	-0,0041	-3,3614	-12,9095	-28,0497	-48,2069
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

\*  $T_0 = 298,15 K$

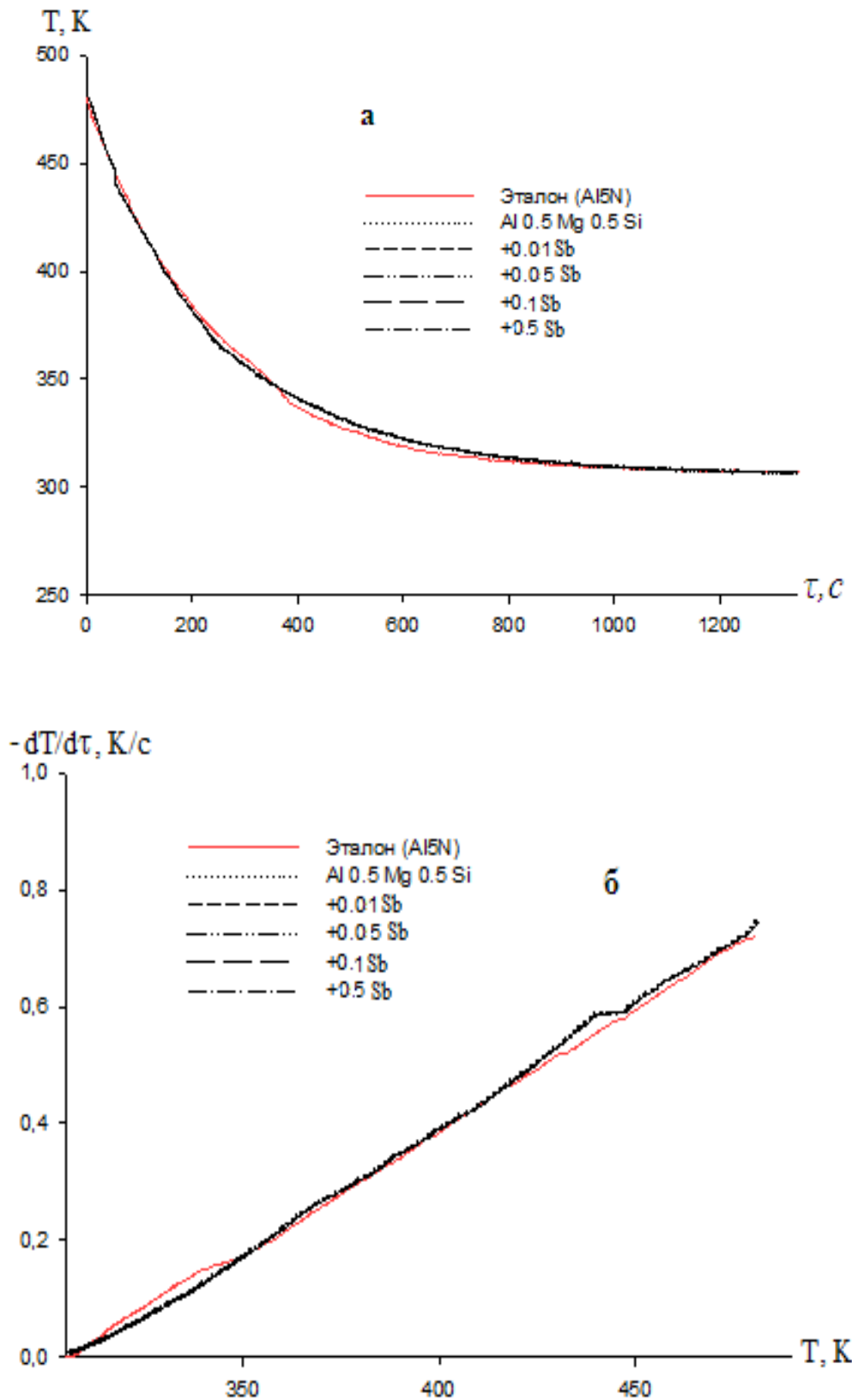
Ҳамин тариқ, дар ҳолати «хунукшавӣ» бо гармиғунҷоиши маълуми эталон аз алюминийи тамғаи А5N гармиғунҷоиши хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий чавҳарнидашуда муқаррар карда шуд. Бо ёрии вобастагиҳои полиноми бадастомада нишон дода шудааст, ки бо зиёдшави ҳарорат гармиғунҷоиш, коэффисиенти гармидиҳӣ, энталпия ва энтропияи хӯлаҳо зиёд шуда, қимати энергияи Гиббс кам мешавад. Иловаҳои кадмий дар ҳудуди концентратсияҳои омӯхташуда (0,01-0,5 ваз.%) гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропияи хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi (алдрей)-ро кам мекунад, дар ин ҳолат қимати энергияи Гиббс каме зиёд мешавад.

#### **2.4. Таъсири иловаҳои сурма ба хосиятҳои теплофизикӣ ва функцияҳои термодинамикии ноқили алюминийи хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») [13-М].**

Дар ин зербоб тадқиқотҳо дар речаи «хунукшавӣ» гузаронида шуданд [70-78]. Качхатиҳои хунуккунии намунаҳо ва суръати хунуккунӣ аз ҳароратро барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма, таҷрибавии ҳосил карда дар расми 2.12 пешниҳод менамоем.

Вобастагии ҳарорат аз вақти хунуккунӣ барои намунаҳо аз хӯлаҳо (расми 2.12) бо муодилаи намуди (2.1) навишташуда, ҳосил карда шуд. Муодилаи (2.1)-ро нисбат ба  $\tau$  дифференсиронида муодилаеро барои муайян кардани суръати хунукшавии хӯлаҳо (2.2) ҳосил менамоем.

Аз вобастагии ҳарорати намунаҳо аз вақт бо роҳи таҷрибавӣ ҳосилкарда (расми 2.12a) ва суръати хунукшавии намунаҳо аз ҳарорат барои хӯлаҳо, ки бо полиномҳои (2.1) ва (2.2) навишта шудаанд, коэффисиентҳои онҳо бо коркарди компютерӣ муайян карда шуданд. Қиматҳои коэффисиентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  аз муодилаи (2.2) барои хӯлаҳои таҳқиқшуда дар ҷадвали 2.9 оварда шудаанд.



**Расми 2.12** - Графикаи вобастагии ҳарорат аз вақт (а) ва суръати хунуккунӣ аз ҳарорат (б) барои намунаҳои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма ва эталон (Al тамғаи A5N)

**Ҷадвали 2.9** - Қиматҳои коэффициентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  аз муодилаи (2.2) барои ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳарнидашуда

Миқдори сурма дар ҳӯла, мас.%	$a, K$	$b \cdot 10^{-3}, c^1$	$p, K$	$k \cdot 10^{-5}, c^1$	$ab \cdot 10^1, Kc^1$	$pk \cdot 10^3, Kc^1$
0.0	165,61	4.46	314,72	2,27	7,38	7,14
0.01	165,46	4.46	315,39	2,32	7,38	7,31
0.05	165,46	4.46	315,49	2,32	7,38	7,31
0.1	165,46	4.46	315,49	2,32	7,38	7,31
0.5	165,46	4.46	315,19	2,32	7,38	7,31
Эталон	174,88	4,11	305,62	3,2	7,19	1,00

**Ҷадвали 2.10** - Қиматҳои коэффициентҳои  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  аз муодилаи (2.4) барои намунаҳои ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳарнидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N).

Миқдори сурма дар ҳӯла, ваз.%	$a,$ Ҷ/кг·К	$b,$ Ҷ/кг·К <sup>2</sup>	$c,$ Ҷ/кг·К <sup>3</sup>	$d \cdot 10^{-4},$ Ҷ/кг·К <sup>4</sup>	Коэффициенти корреляция R,
0.0	-10400,00	84,29	0.2084	1.71	0.9925
0.01	-9074,10	73,8963	-0,1821	0,00014	0.9998
0.05	-9087,40	73,9573	-0,1821	0,00014	0.9984
0.1	-9090,16	73,9566	-0,1821	0,00014	0.9992
0.5	-9081,71	73,8879	-0,1820	0,00014	0.9990
Эталон	645.88	0.35	0.00	0.00	1.0

Баъдан аз рӯи қиматҳои ҳисобкардаи бузургии суръати хунукшавии намунаҳо мувофиқи муодилаи (2.3), гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳои ҳисобкунӣ нишон медиҳанд, ки вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо

сурма бо муодилаи намуди (2.4) навишта шудааст. Қиматҳои коэффисиентҳои полиномӣ (2.4), (ҷадвали 2.10) коркарди натиҷаҳои ҳисобкуниҳои онҳо бо барномаи Sigma Plot ҳосил карда шудаанд.

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиш баъди 50 К бо формулаи (2.3) дар ҷадвали 2.11 ва расми 2.13 пешниҳод шудаанд.

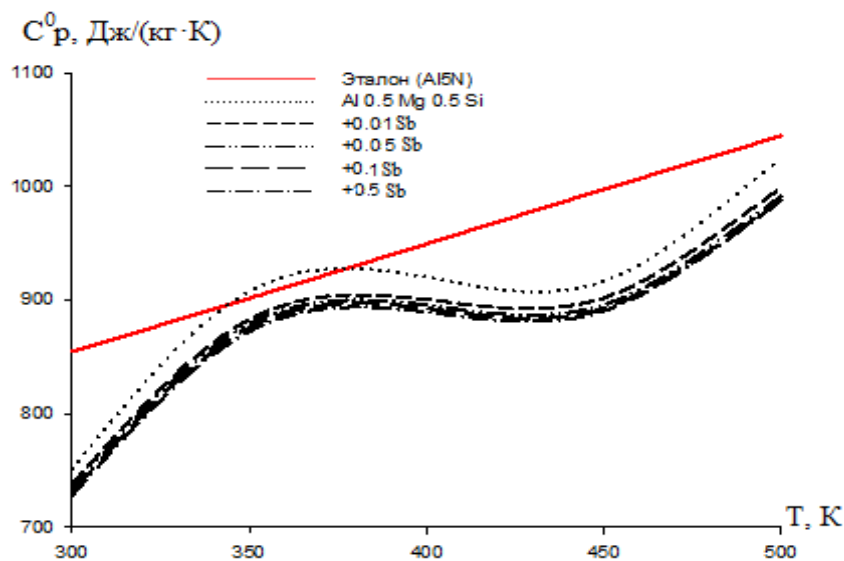
**Ҷадвали 2.11** - Вобастагии ҳароратии гармиғунҷоиши хоси (кҶ/(кг К)) ҳулаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори сурма дар хӯла, ваз.%	Т, К				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.01	737,65	882,20	901,42	903,76	1021,87
0.05	590,20	822,57	867,46	886,20	1020,20
0.1	560,05	785,45	828,91	848,10	1010,15
0.5	557,44	769,55	810,40	827,42	951,40
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57

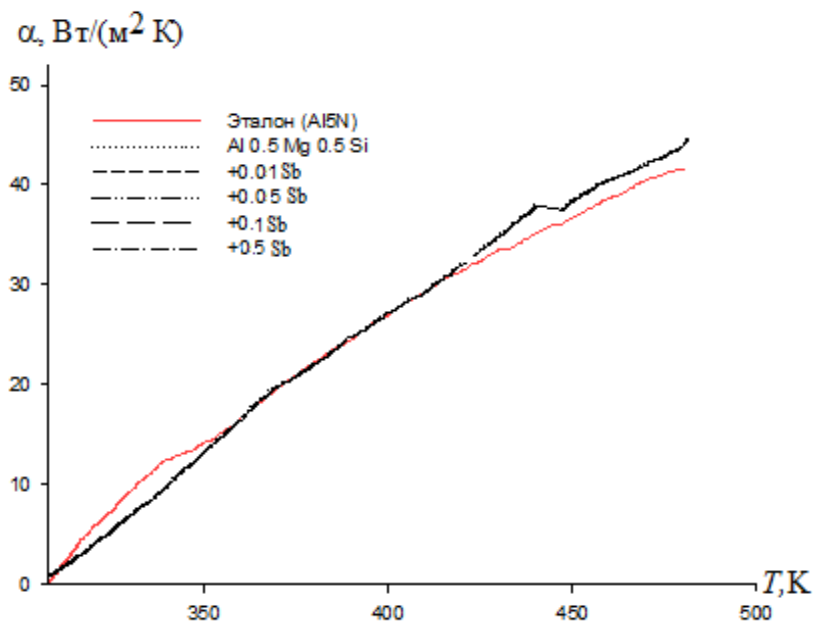
Гармиғунҷоиш аз консентратсияи сурма дар хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») кам шуда, ва аз ҳарорат зиёд мешавад. Қиматҳои гармиғунҷоиши хоси хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронида ва қиматҳои таҷрибавӣ ҳосил намудаи суръати хунукшавии намунаҳои истифода намуда аз рӯи муодилаи (2.5) вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»)ро ҳисоб намудем. Вобастагии ҳарорати коэффисиенти гармидиҳӣ барои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронида, дар расми 2.14 пешниҳод карда шудааст.

Барои ҳисобӣ вобастагиҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс мувофиқи муодилаҳои (2.6)-(2.8) интегралӣ

аз гармигунҷоиши хос аз рӯи муодилаи (2.4) истифода бурда шуд. Натиҷаҳои ҳисобкуниҳои вобастагҳои ҳароратии тағйирёбии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббс баъди 50 К дар ҷадвали 2.12 ва расми 2.15 пешниҳод шудаанд.



Расми 2.13 - Вобастагии ҳароратии гармигунҷоиши хоси ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N).

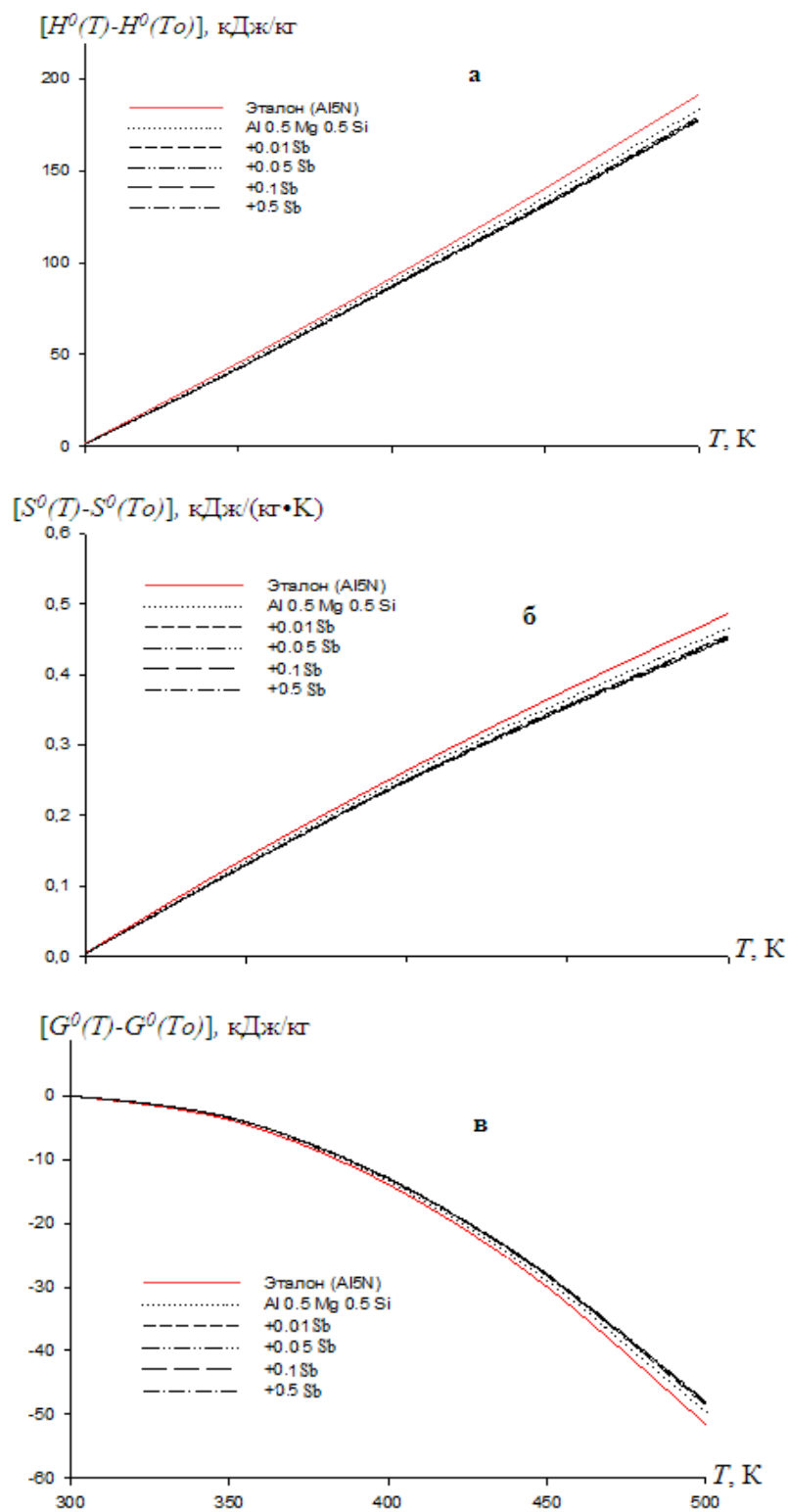


Расми 2.14 - Вобастагии ҳароратии коэффисиенти гармидиҳии ҳӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N)

Ҷадвали 2.12 - Вобастагии хароратии тағйирёбии функцияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N)

Миқдори сурма дар хӯла, мас.%	Т.К				
	300	350	400	450	500
	[ $H^0(T)-H^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	1,3799	43,7138	89,7383	135,4471	183,2480
0.01	1,3563	42,6407	87,52521	132,4161	179,307
0.05	1,3490	42,4300	87,0887	131,7063	178,2514
0.1	1,3435	42,2754	86,7833	131,2482	177,6390
0.5	1,3376	42,1045	86,4505	130,7819	177,0923
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
	[ $S^0(T)-S^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг / (кг•К) барои хӯлаҳо				
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.01	0,00453	0,1315	0,2513	0,3571	0,4558
0.05	0,00451	0,1308	0,2501	0,3552	0,4532
0.1	0,00450	0,1304	0,2492	0,3540	0,4517
0.5	0,00450	0,1299	0,2483	0,3527	0,4502
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
	[ $G^0(T)-G^0(T_0^*)$ ], кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.01	-0,0041	-3,3947	-13,0252	-28,2899	-48,6158
0.05	-0,0041	-3,3775	-12,9604	-28,1467	-48,3601
0.1	-0,0041	-3,3648	-12,9136	-28,0466	-48,1898
0.5	-0,0041	-3,3510	-12,8622	-27,9389	-48,0135
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

\*  $T_0 = 298,15 K$



**Расми 2.15** - Тағйирёбии ҳароратии энталпия (а), энтропия (б) ва энергияи Гиббси (в) ҳулаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N).



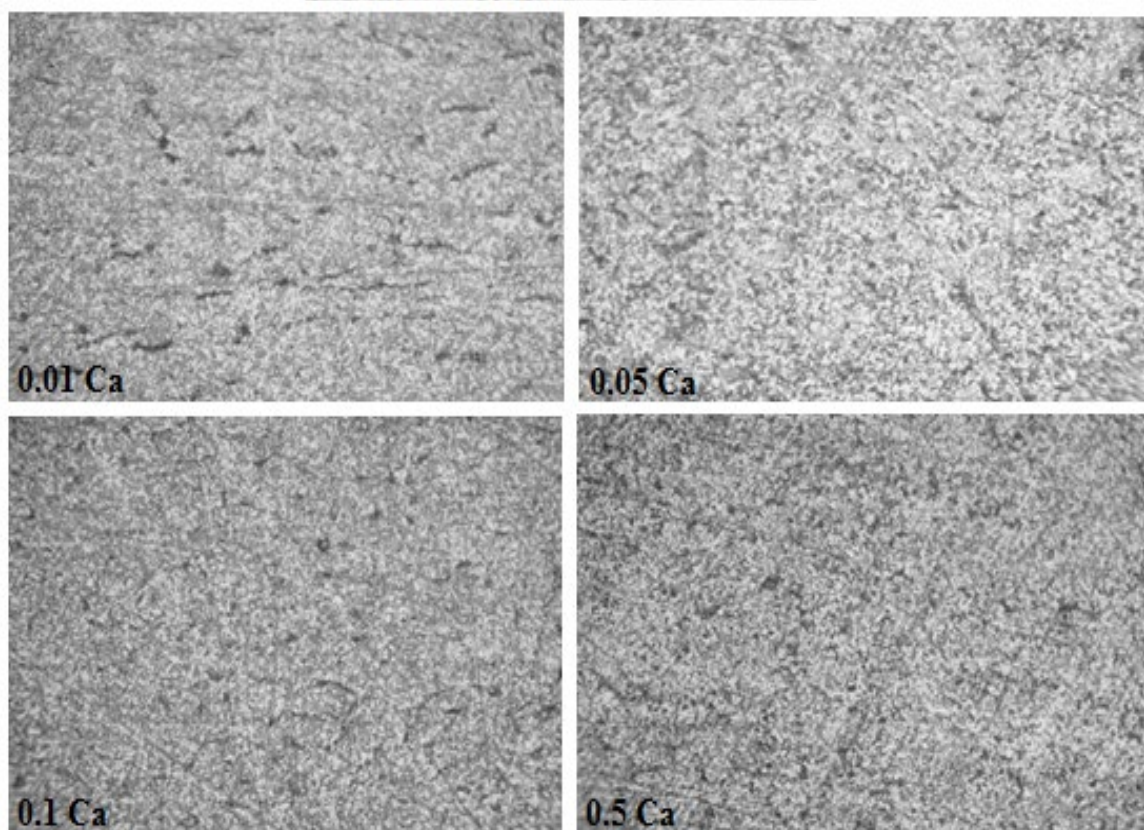
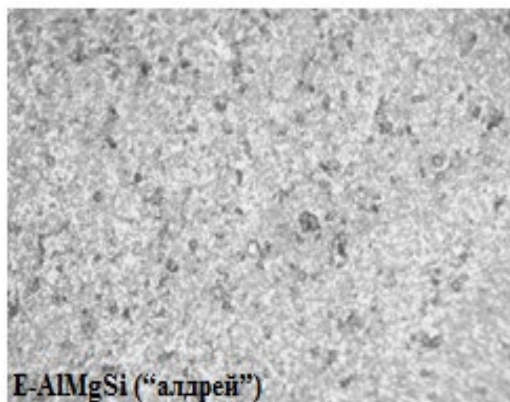
Вобастагии гармиғунчоиш аз ҳарорат хусусияти хоси ҳар як моддаи алоҳида буда, имкон медиҳад, ки дар бораи сохтори молекулаҳо, таъсири мутақобилаи онҳо ва энергияи таъсири мутақобилаи атомҳо дар молекулаҳо хулоса барорем. Зиёдшавии гармиғунчоиш бо зиёдшавии ҳарорат, ки тадричан бо ангишти дараҷаҳои нави озодии молекулаҳо (ларзишӣ ва гардишӣ), ки ба онҳо низ гармӣ ҷори мешавад, шарҳ дода мешавад. Аз ин рӯ, гармиғунчоиш низ меафзояд. Иловаҳои сурма дар доираи концентратсияи омӯхташуда (0,01 - 0,5 ваз.%) гармиғунчоиш, энталпия ва энтропияи ҳӯлаи ибтидоии алюминийи E-AlMgSi («алдрей») ро кам мекунад. Дар баробари ин қимати энергияи Гиббс меафзояд.

## 2.5. Таҳқиқоти микроструктурӣ ва хосиятҳои механикии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма

Дар алоқаманди бо тағирёбии талаботҳои истеъмолкунандагон ба хосиятҳои механикӣ ба маҳсулоти нимтайёри деформасияшавандае, ки дар кабелҳои қуввагӣ ва симҳои ҷараёнгузарон истифода мешаванд, якбора истеъмоли симҳои электротехникии аз ҳӯлаҳои алюминий зиёд мешавад. Бо мақсади кам кардани талафот, ҳангоми интиқоли энергияи электрӣ коркарди ҳӯлаҳои нави алюминий зарураст, ки бояд онҳо бо мустаҳкамии баланди механикӣ, хосиятҳои электрикгузарони қаноатбах бошанд.

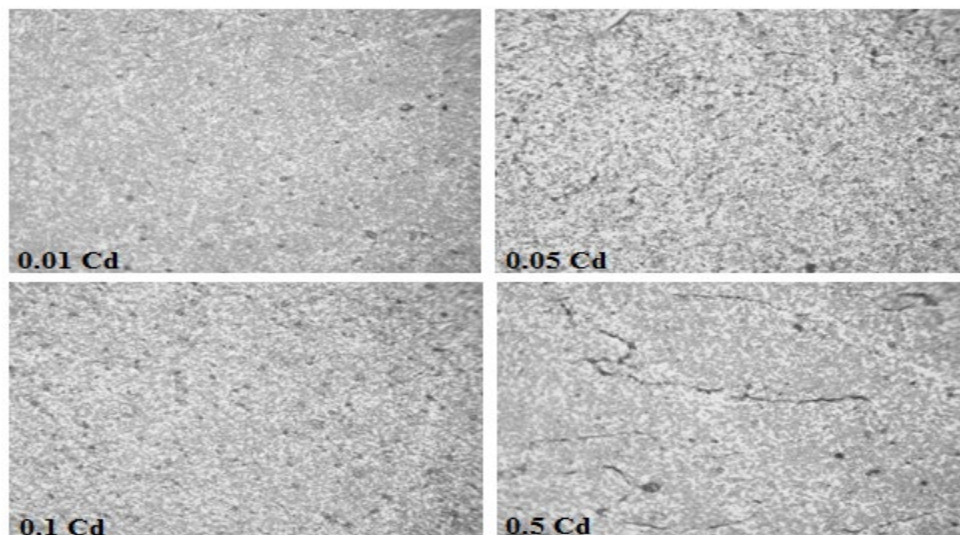
Дар алоқаманди бо арзиши пасти ноқилҳои аз ҳӯлаҳои алюминий нисбат ба мис, инчунин иваз кардани як қисми кабелҳои қуввагии мисин бо кабелҳо бо истифодаи ноқилҳо ҳӯлаҳои нави алюминий оянда хуб дорад.

Дар замони ҳозир дар соҳаи маводшиносӣ омӯзиши комплекси материалҳо бо донаҳои ниҳоятхурд бо суръат тарақи дорад [3]. Дар расмҳои 2.16 - 2.18 микроструктураҳои ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда бо афзоиши  $10x$ , ки дар он  $x=40$  мебошад, нишон дода шудаанд.



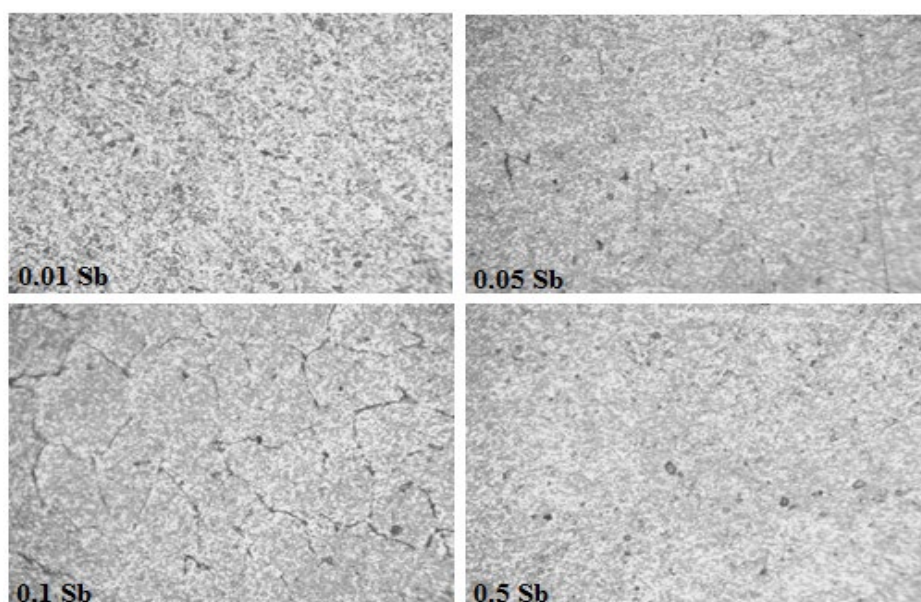
**Расми 2.16 -** Микроструктураи (x40) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда

Чи тавре маълум аст, модификатсияи кадмии дугона ва сегонаи эвтектики ба структураи хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), метавон ҳам хосиятҳои механикӣ, теплофизикӣ ва ҳам устувори ба зангзании хӯлаи ноқили E-AlMgSi («алдрей»)-ро, ки ба кам шудани гармигунҷоиш мусоидат мекунад, ба таври назаррас тағйир диҳад (расми 2.17).



**Расми 2.17** - Микроструктураи (x40) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий чавҳаронидашуда

Дар расми 2.18 микроструктураи хӯлаи ноқили E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда, нишон дода шудааст. Айён аст, ки ҳосилшавии донаҳои нав хангоми кристаллизатсия дар минтақаҳое, ки зичии баланди дислокатсия доранд, одатан дар сарҳади донаҳои деформатсияшуда ба амал меояд. Кристаллизатсияи ибтидоӣ вақте ба охир мерасад, ки ҳаҷми метали деформатсияшуда пурра бо донаҳои нав иваз карда шавад.



**Расми 2.18** - Микроструктураи (x40) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда

Калсий, кадмий ва сурма ҳамчун кампанентҳои чавҳаронидашаванда микроструктураҳои ҳамаи фазаҳоеро, ки асоси хӯлаҳо ро ташкил медиҳанд, хеле майда мекунад. Микроструктураҳои хӯлаҳо нишон медиҳанд, ки иловаҳои Ca, Cd ва Sb микроструктураи хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей»)-ро хеле майда мекунад, яъне на танҳо эвтектикаи дугона  $\alpha$ -Al-Si,  $\alpha$ -Al-Mg<sub>0,5</sub> ва эвтектикаи сегонаи  $\alpha$ -Al+Mg<sub>0,5</sub>+Si<sub>0,5</sub>-ро дигаргун мекунад, балки табиати (шакли) кристаллизатсияи 93 пайвастагиҳои сегонаи интерметаллидҳо Al<sub>2</sub>Si( $\alpha$ ), (Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>)-ро низ тағйир медиҳанд. Механизми таъсири Ca, Cd ва Sb ба микроструктураи хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»)-и чавҳаронидашуда бо таъсири сатҳи фаъоли онҳо шарҳ дода мешавад. Мавҷудияти сатҳи фаъоли кампанентҳои чавҳаронидашудаи элементҳои нишон додашуда, кашишӣ байни фазавино дар сарҳади гӯдохта бо ядро ва суръати ивазшавии атомҳо дар байни онҳо қад намуда ё ба пайдоиши фазаи кристаллизатсия мусоидат мекунад. Майдашавии микроструктураҳои хӯлаҳо ба хосиятҳои теплофизикӣ ва устуворӣ ба зангзании онҳо таъсири мусбат мерасонад. Натиҷаҳои таҳқиқотҳо нишон медиҳанд, ки бо зиёд шудани консентратсияҳои Ca, Cd ва Sb гармигунҷоиш ва коэффисиенти гармидиҳии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») кам мешавад. Хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») хӯлаи намунавӣ буда, ҳангоми чавҳаронида бо Ca, Cd, Sb ва дигар металлҳо, хосияти истиодабарии он ба таври назаррас беҳтар карда мешавад.

**Хосиятҳои механикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»),  
бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда**

Ба хосиятҳои асосии механикии масолеҳои конструктивӣ ва хӯлаҳо, муайянкунандаи қобилияти корӣ ва доираи татбиқи онҳо дохил мешаванд: сахтӣ, мустаҳкамӣ, чандирӣ, пластикӣ, часпакӣ, тобоварӣ. Аз байни ҳамаи намудҳо санчишҳои механикии сахти мавод ҳамчун муқовимат ба зарба бештар ва амалан барои ҳамаи маводҳо муайян карда мешавад. Ин бо он шарҳ дода мешавад, ки санчиш ба сахтӣ ба

вайроншавии маҳсулот оварда намерасонад, бузургҳои чузъҳо ё маҳсулотро маҳдуд накарда, одди фарқ мекунад ва инчунин истифодашави сайёри асбобҳоро имкон медиҳад. Ҳангоми муайянкунии сахтӣ усулҳои гуногуни таъсири ҷисми сахт ба сатҳи маводи озмудашаванда мавҷуданд: усули зеркунӣ, усули харошидан ва бозгашти чандирӣ. Азбаски усули зеркунӣ бештар маъмул аст, муайян кардани сахтӣ бо ин усул муҳимтар аст. Санҷиши сахтӣ бо Бринелл тавассути паҳш кардани кураи пӯлоди обутобдодаи диаметри 10 мм, 5 мм ё 2,5 мм дар зери сарборӣ гузаронида мешавад. Пас аз гирифтани сарборӣ, дар рӯи сатҳ осоре боқӣ мемонад, ки бо истифода аз лупи шкаладор чен карда мешавад. Сахтӣ бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \quad (2.9)$$

ки дар инҷо P-қувваи ба кӯра таъсиркунанда, кг; S- масоҳати сатҳи нишона, мм; D- диаметри кӯра, мм; d – диаметри нишона, мм; HB - сахтӣ бо Бринелл.

Истифодабарии усули Бринелл агар маҳдудкунандаи сахтӣ миёна (то 450 HB) бошад, пас усули Роквелл имкон медиҳад, ки сахтиро то 1000 HB чен карда, доираи маводҳои санҷидашударо хело васеъ намуд ва ин усулро бисёрҷониба арзёби мекунад.

Ҳангоми чен кардани сахтӣ бо усули Роквелл ба сатҳи намунаи омӯхташаванда бо конуси алмосии (ё победит) кунҷаш дар қуллаи 120 ° ё кӯраи пӯлодии обутобдодашудаи диаметраш 1,59 мм дар зери таъсири ду бори пайдарпай гузоштаи сарборӣ (10 кгс) ва умумӣ 60, 100 ё 150 кгс амалӣ карда мешавад. Аниқтараш сахтӣ бо усули Роквелл аз рӯи фарқияти чуқури зершуда дар зери таъсири умумӣ ва сарборӣ пешакӣ иҷро карда мешавад. Барои тавсифи ададии сахтӣ, шартан рақамҳои чадалро ба тартиб оварда, ҳаракати баръакси хатчаро дар лаҳзаи боркунӣ сабт мекунад. Бинобар ин индентерро дар 0,002 мм (2 мкм) чоғир намуда, ҷойивазшавии хатча ба як тақсимоти шкала мувофиқ аст.



Адади сахтӣ бо Роквелл ин якчанд ададҳое мебошанд, ки бо ҳарфҳои HR ишора гардида дар шкалаҳои A, B ё C нишон дода мешаванд. Ҳамин тариқ, сахтӣ бо Роквелл бо HRA, HRB ё HRC ишора карда мешавад [109]. Дар вобастаги аз шкала адади сахтӣ бо чуқури ҷойгир шудаи конус ё кӯра бо формулаҳои зерин муайян карда мешавад:

$$\text{– барои шкалаи C: } HRC = 100 - \frac{H-h}{0.002}, \quad (2.10)$$

$$\text{– барои шкалаи B: } HRB = 130 - \frac{H-h}{0.002}, \quad (2.11)$$

ки дар инҷо H - чуқури ҷойгиршудаи индентор дар зери таъсири сарбории умумӣ, мм; h - чуқурии ҷойгиршудаи индентор дар зери таъсири сарбории пешакӣ, мм. Азбаски 100 ва 130 ин ададҳои тақсимои ҷадвалҳои C ва B мебошанд ва фарқияти H-h чуқурии дарунравии индентор бо таъсири сарбории асосӣ мебошад (чуқури дарунравии бо таъсири бории умумӣ минуси чуқури бо таъсири борӣ пешакӣ), дар ин вақт қисмати аз тақсимои ин фарқият ба 0,002мм аст, ин на он аст, ки ҳамчун адади тақсимои ҷадвал, ки ҳангоми индентор бо таъсири сарбории асосӣ нишон медиҳад, балки ин адади сахтӣ аст масалан, HRC-ин адади тақсимои ҷадвал мебошад, ки ҳангоми санҷиш ақрабақ аз он намегузарад [110].

Коркарди натиҷаҳои таҷрибавӣ имкон дод, ки вобастагии байни сахтӣ бо Бринел ва ҳади сахтӣ барои хӯлаҳои хоми обутобнадода муайян карда шавад. Ин вобастагӣ бо муодилаи оддӣ навишта мешавад:

$$\sigma_s = k \cdot HB \quad (2.12)$$

Қимати коэффисиенти «к» барои хӯлаҳои рехтагарии алюминий баробари 0,25 аст.

Барои иҷроиши таҷриба, мо намунаҳои хӯлаҳои нишондодашударо барои чен кардани сахтии бо Бринел ва Роквелл ҳосил намудем. Аз руи натиҷаҳои ченшуда, сахтӣ ва қимати коэффисиенти «к» мустақамии хӯлаҳо баҳогузори карда мешавад. Маълумоти натиҷаҳо дар ҷадвали 2.13.

**Ҷадвали 2.13. Сахтӣ ва мустаҳкамии ҳисобии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда**

№ р.т	Таркиби хӯлаҳо, вазн.%	Вазн, бор, кг	Диаметри нуги, мм	Диаметр чоп, мм	Сахти НВ кг/мм <sup>2</sup>	Сахтии миёна НВ кг/мм <sup>2</sup>	Сахти, МПа	Қувваи тарҳрезӣ, МПа
1	AlMgSi	250	10	3.73	16.298	16,344	160,28	43,275
				3.51	16.803			
				3,68	15.933			
2	AlMgSi+Ca 0,01	250	10	3.48	16.246	16,237	159,23	43
				3.51	16.252			
				3.46	16.242			
3	AlMgSi+Ca 0,05	250	10	3,37	16.225	16,230	159,16	42,973
				3,43	16.236			
				3,40	16.231			
4	AlMgSi+Ca 0,1	250	10	3,67	16.285	16,268	159,53	43,073
				3,52	16.254			
				3,58	16.266			
5	AlMgSi+Ca 0,5	250	10	3,45	16.240	16,257	159,42	43,043
				3,48	16.246			
				3,67	16.285			
6	AlMgSi+Sb 0,01	250	10	3,63	16.277	16,260	159,45	43,051
				3,57	16.250			
				3,52	16.254			
7	AlMgSi + Sb 0,05	250	10	3,51	16.252	16,263	159,48	43,059
				3,46	16.242			
				3,72	16.295			
8	AlMgSi + Sb 0,1	250	10	3,29	16.210	16,215	159,014	42,933
				3,40	16.231			
				3,27	16.206			
9	AlMgSi +Sb 0,5	250	10	3.50	16.250	16,248	159,338	43,021
				3,53	16.256			
				3,43	16.236			
10	AlMgSi+Cd 0,01	250	10	3.43	16.236	16,234	159,201	42,984
				3.42	16.234			
				3.42	16.234			
11	AlMgSi+Cd 0,05	250	10	3,63	16.277	16,255	159,407	43,059
				3,65	16.280			
				3,28	16.209			
12	AlMgSi+Cd 0,1	250	10	3,63	16.277	16,27	159,554	43,079
				3,26	16.294			
				3,44	16.239			
13	AlMgSi+Cd 0,5	250	10	3,25	16.203	16,297	159,818	43,150
				3,94	16.344			
				4,94	16.344			
14	Эталон	3000	10	5,3	124.89	132,18	1296,242	
				5,05	139.47			

Аз ҷадвал дида мешавад, ки иловаҳои Са, Cd ва Sb структураи хӯлаи ибтидоиро хеле майда мекунад. Ҳангоми зиёд шудани

концентратсияи иловаҳои чавҳаронида то 0.5 ваз.% сахтии хӯлаҳо каме паст мешавад. Дар байни элементҳои омӯхташаванда чавҳаронидашаванда иловаҳои кадмий таъсири бештари мусбат доранд. Аз 96-тои ин натиҷаҳо бармеояд, ки зиёдшавии концентратсияи элементҳои нишондодашударо ғайри мақсад ҳисобидан мумкин аст. Инчунин бо зиёд шудани миқдори иловаҳои Ca, Cd, Sb устувории хӯлаи ибтидоӣ кам мешавад, ки ин аз тағйирёбии микроструктураи он шаҳодат медиҳад.

Дар микроструктураи хӯлаҳои дар боло зикршуда одатан фазаи AlMgSi пайдо мешавад. Ин ба он алоқаманд аст, ки оҳан ва силитсий ҳалшавандагии паст дар алюминий доранд ва элементҳои ғашӣ мебошанд. Аз ин лиҳоз, мавҷудияти онҳоро дар ин металл бо ёрии маҳлули 0,5%-и кислотаи гидрофторӣ ба осонӣ ошкор мекунанд. Гузаронидани таҳқиқотҳо нишон дод, ки зиёдшавии миқдори Ca, Cd ва Sb дар хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз 0,01 то 0,5% ба паст шудани устувории хӯла оварда мерасонад. Тағйирёбии сахтии хӯла ҳангоми тағйирёбии таркиби Ca, Cd ва Sb мушоҳида нашуд.

## 2.6. Хулоса оид ба боби 2

Яке аз роҳҳои зиёд намудани мустаҳкамии ноқилҳои алюминийги ин чавҳаронидани хӯлаҳои алюминий мебошад. Элементҳои чавҳаронидашаванда бояд зиёдшавии мустаҳкамиро ҳангоми электргузаронӣ таъмин намоянд. Чун қоида, ғашҳо мустаҳкамии алюминийро зиёд намуда ва ҳамзамон электргузаронии онро кам мекунанд. Албатта, мумкин аст, ки ғашҳоеро интиҳоб намоем, ки хосияти механикиро зиёд намуда, гузаронандагии онро камтар паст кунанд ва воридкунии онҳо бо мақсади зиёдшавии мустаҳкамии алюминий аст.

Хӯлаи маълум («алдрей») ифодакунандаи алюминийи дорои ғашҳои: 0,3-0,5% Mg, 0,4-0,7% Si, 0,2-0,3% Fe аст. Сабабгори хосиятҳои («алдрей»), ғашҳои ҳатмӣ, магний ва силитси мебошанд, ки бояд таносуби миқдори



онҳо ба формулаи пайвастагии  $Mg_2Si$  дар хӯла ҳосилшаванда мувофиқат намуда, ба он мустаҳкамии механикии баланд бахшад. Вале дар шароити амалӣ бояд, доими мавҷудияти оҳанро дар хӯла ба назар гирифт, ки то ҳол муқаррарӣ буда, қисми ғаши зараровар дар алюминии техникӣ ба шумор рафта, пайвастагии дорои силитси ( $Al_6Fe_2Si_3$ ) ҳосил мекунад. Бинобар ин, барои таъмин намудани ҳосилшавии пайвастагии пурраи  $Mg_2Si$ , дар хӯла иловатан (0,4-0,5%) силитсий, баръакси назария ба миқдори зарури ворид мекунад.

Мустаҳкамкунии таъсири пайвастагии  $Mg_2Si$  ба он асос ёфтааст, ки ҳалшавандагии он дар алюминии саҳт бо камшавии ҳарорат кам мешавад. Ҳамин тавр, ҳалшавандагии максималии  $Mg_2Si$  дар алюминий ҳангоми  $595^\circ C$  ба 1,85% ва ҳангоми  $200^\circ C$  – фақат ба 0,2% баробар мебошад. Бинобар ин, агар гармкунӣ аз  $500^\circ C$  зиёд бошад, хӯлаи намуди («алдрей»), дар ҳамин ҳарорат дар ҳолати саҳтӣ аст ва баъди тез хунуккунӣ маҳлули сершудаи  $Mg_2Si$  дар алюминий ҳосил мешавад.

**Ҷадвали 2.14** - Вобастагии гармиғунҷоиши хоси ( $Ц/(кг \cdot K)$ ) хӯлаи алюминийи E- $AlMgSi$  («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи A5N) аз ҳарорат

Миқдори компонентҳои чавҳаронидашуда дар хӯла ваз.%	Т, К				
	300	350	400	450	500
0.0	751,00	907,62	920,00	916,37	1025,00
0.5 Ca	730,43	878,95	897,72	898,49	993,01
0.5 Cd	729,39	876,24	893,85	893,95	988,31
0.5 Sb	557,44	769,55	810,40	827,42	951,40
Эталон	854,61	901,55	949,47	997,46	1044,57

Нақшаи коркарди ҳароратии симҳои аз хӯлаҳои намуди («алдрей») аз он иборат аст, ки хӯлаи тайёри пресскардашударо дар об дар 510-550

°C обутоб дода, баъдан дароз кашида дар 140-180 °C ба фарсудашавии сунъӣ дучор мекунамд.

**Ҷадвали 2.15** - Вобастагии энталпия, энтропия ва энергияи Гиббси хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда ва эталон (Al тамғаи А5N) аз ҳарорат

Миқдори компонентҳои ҷавҳаронидашуда дар хӯла ваз.%	Т.К				
	300	350	400	450	500
	$[H^0(T)-H^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799	1,3799
0.5	1,3442	42,4022	87,1886	132,0096	178,7589
0.5	1,3408	42,2530	86,8112	131,3465	177,7776
0.5	1,3376	42,1045	86,4505	130,7819	177,0923
Эталон	1,5795	45,4777	91,7514	140,4266	178,8888
	$[S^0(T)-S^0(T_0^*)]$ , кҶ/(кг•К) барои хӯлаҳо				
0.0	0,0046	0,1348	0,2577	0,3657	0,4690
0.5	0,00450	0,1306	0,2500	0,3555	0,4537
0.5	0,0045	0,1303	0,2493	0,3542	0,4520
0.5	0,00450	0,1299	0,2483	0,3527	0,4502
Эталон	0,0053	0,1405	0,2460	0,3786	0,4601
	$[G^0(T)-G^0(T_0^*)]$ , кҶ/кг барои хӯлаҳо				
0.0	-0,0043	-3,4739	-13,3499	-28,9837	-48,9999
0.5	-0,00414	-3,36824	-12,9418	-28,1316	-48,3633
0.5	-0,0041	-3,3614	-12,9095	-28,0497	-48,2069
0.5	-0,0041	-3,3510	-12,8622	-27,9389	-48,0135
Эталон	-0,0049	-3,7068	-13,8629	-29,9625	-48,8629

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои таъсири иловаҳои калсий, кадмий ва сурма ба гармиғунҷоиш ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаҳои

алюминийи E-AlMgSi («алдрей») дар ҷадвали 2.14-2.15 оварда шудаанд. Хӯлаи дорои 0.5 ваз.%-и компоненти ҷавҳаронидашуда нишон дод, ки бо зиёд шудани ҳарорат гармиғунҷоиш, коэффисиенти гармидиҳӣ, энтропии ва энталпияи хӯлаҳо зиёд гардида, энергияи Гиббс кам мешавад.

Дар маҷмӯ, характеристикаҳои хосиятҳои теплофизикӣ ва тағйирёбии функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда, нишон доданд, ки зиёдшавии гармиғунҷоиш, коэффисиенти гармидиҳӣ, энтропия, энталпияи хӯлаҳо бо зиёдшавии ҳарорат, мутаносибан бо коҳиши энергияи Гиббс сурат мегирад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо сурма гузаштан камшавии гармиғунҷоиш, энталпия ва энтропия ва зиёдшавии энергияи Гиббс мушоҳида мешавад.

### БОБИ 3. ТАҲҚИҚОТИ КИНЕТИКАИ ОКСИДШАВИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ЧАВҲАРОНИДАШУДА

#### 3.1. Таҷҳизот ва усули таҳқиқоти кинетикаи оксидшавии хӯлаҳо

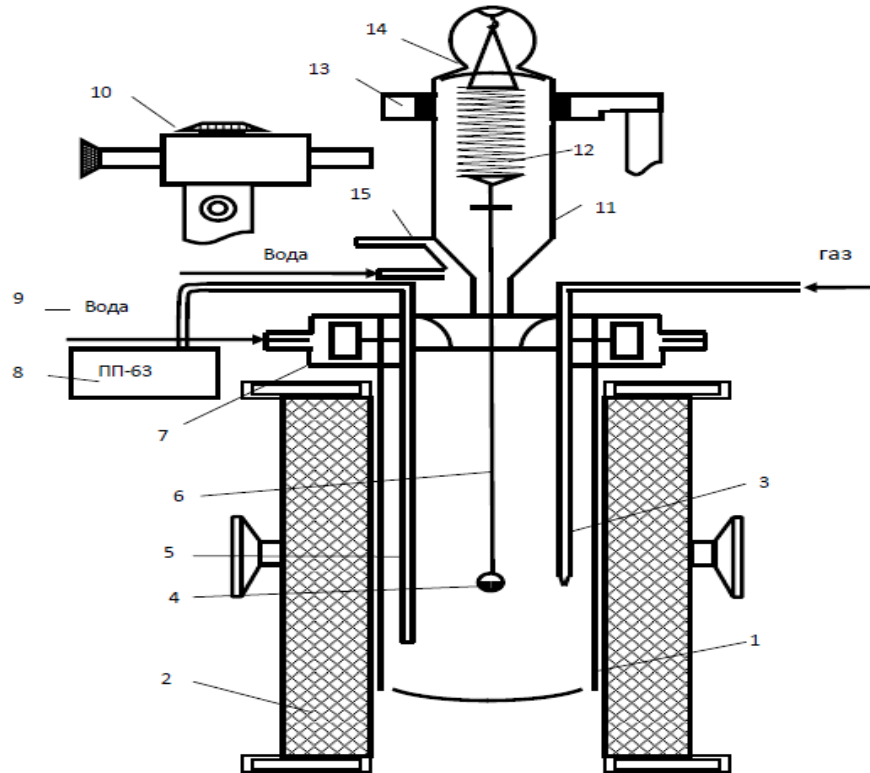
Барои омӯзиши равандҳои кинетикӣ, ки ҳангоми оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо ба амал меоянд, дар алоҳидагӣ барои омӯختани суръати оксидшавии хӯлаҳои коркардшудаи саноатӣ, асосан усули термогравиметрӣ истифода мешавад, ки барои ин намуди тадқиқотҳо хело самаранок аст. Ин усулро ҳангоми таҳқиқоти равандҳои кинетикӣ, ки дар шароитҳои гуногун ба амал меоянд, васеъ истифода мебаранд, зеро оддӣ буда ва онро дар доираи васеи ҳароратҳо (баланд аз 1773 К) истифода бурдан мумкин аст [79-91].

Таҳқиқоти кинетикӣ дар оташдонӣ лаборатории вакууми баландҳароратии Тамман гузаронида шуд, ки принсипи кор ва нақшаи онро муаллифони [96] овардаанд ва дар шакли нақша дар расми 3.1. нишон дода шудааст.

Барои таҳқиқот тигели аз оксиди алюминии баландиаш 25мм ва диаметраш 20мм истифода бурда шуд, ки дар он гудохтани хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо миқдорҳои гуногуни калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда гузаронида шуд.

Гармкунии намунаҳои хӯлаҳо дар ҳаво гузаронида шуд [79-96]. Раванди оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқотшаванда бо тағйирёбии вазни тигел баъди 30-60 сония назорат карда мешавад. Хатогии ченкунии ин таҳқиқот  $\pm 10\%$  аст.

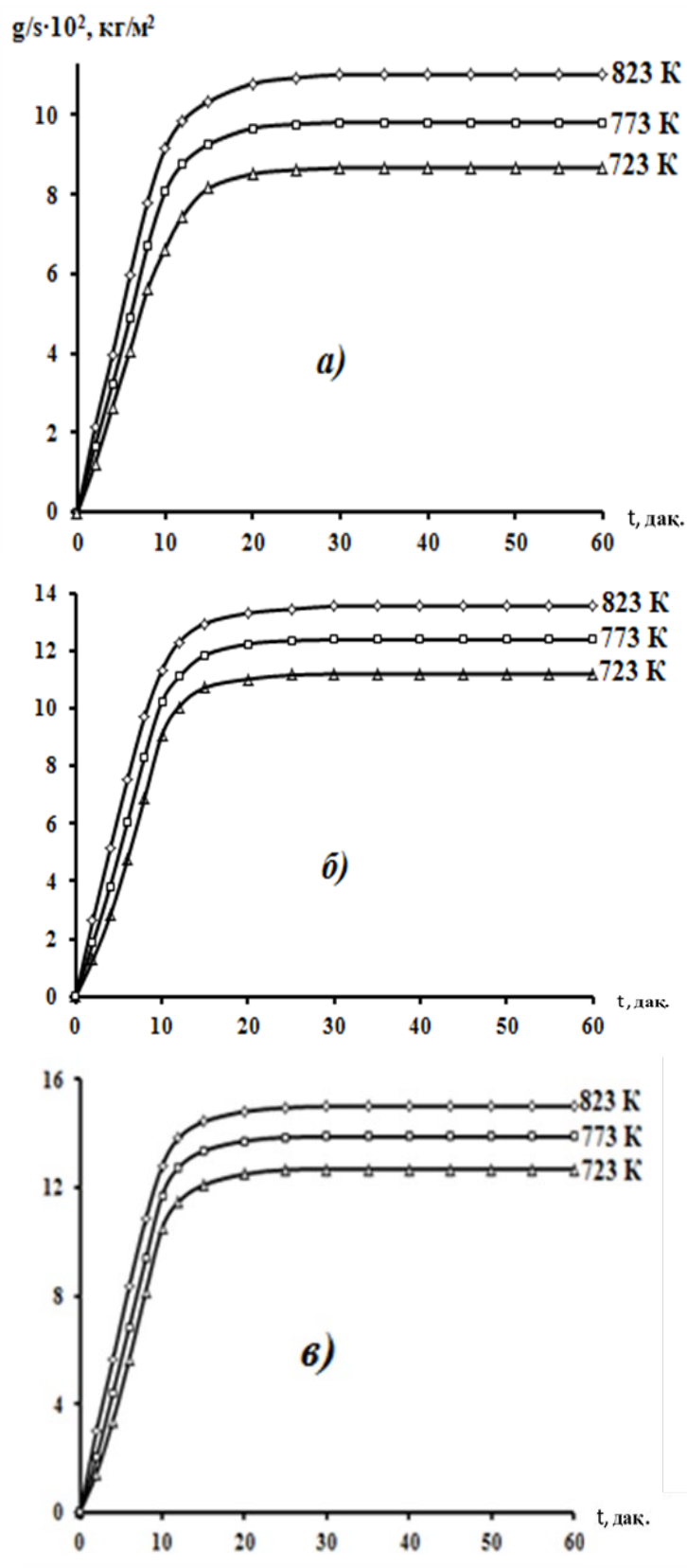
Дар адабиётҳо оид ба гармӣ тобовар будани хӯлаи алюминийи E-AlMgSi, бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда маълумотҳо мавҷуд нест. Раванди оксидшавии хӯлаҳо дар ҳаво дар шароити изотермикӣ бо усули термогравиметрӣ ва сабти бетанафуси вазни намуна, дар давоми як соат дар ҳароратҳои 723К 773К ва 823К омӯхта шуд.



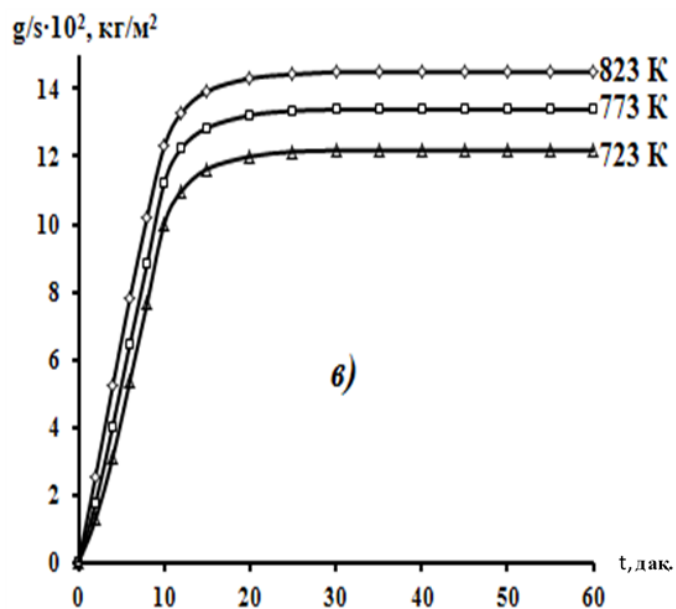
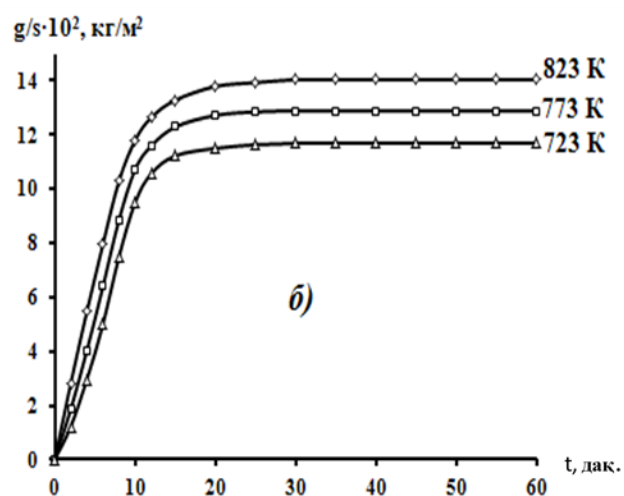
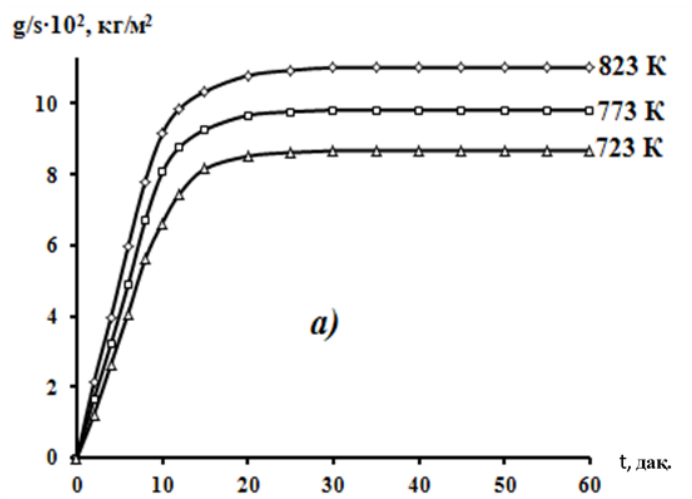
**Расми 3.1** -Нақшаи дасгоҳ барои омӯзиши кинетикаи оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо. 1-оташдон Тамман, 2-пуслоҳ аз оксиди алюминий, 3-кубури газгузарон, 4-тигел, 5- термопар, 6- риштаи платинагӣ, 7-сарпушӣ обхунуккунӣ, 8-потинсиометр, 9-об, 10-катетометр, 11-пуслоҳ аз шишаи молибденӣ, 12- фашанг (пружин) аз ноқили молибденӣ, 13-фарш (подставка), 14-сарпӯш, 15-трон ва яхдон [96].

### 3.2. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий ҷавҳаронидашуда [1-М]

Мо кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»)-ро, ки бо миқдорҳои гуногун калсий ҷавҳаронидашудааст, дар алоҳидагӣ бо концентратсияҳои 0,01; 0,05; 0,1 ва 0,5ваз.% калсий таҷрибаҳо гузаронидем. Дар раванди оксидшавии хӯлаҳои нишондодашуда характеристикаҳои энергетикӣ ва кинетикии оксидшавӣ дида баромадашуд, ки натиҷаҳои онҳо дар расмҳои 3.2-3.8 ва ҷадвалҳои 3.1,3.2 инъикос ёфтаанд.



Расми 3.2 - Качхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) ва ҷавҳаронидашуда 0,01(б) ва 0,5(в) ваз% Са



Расми 3.3 - Качхатихои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) ва ҷавҳаронидашудаи калсий, ваз. %: 0,05 (б); 0,1 (в).

Дар раванди омӯзиши оксидшавии хӯлаи алюминиини E-AlMgSi («алдрей») бо иловаҳои таркибҳои гуногуни калсий, суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаҳои омӯхташаванда дар вобастаги аз раванди ҳароратӣ, ки аз  $2,67 \cdot 10^{-4}$  то  $3,28 \cdot 10^{-4}$  кг м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> иборатанд, мутаносибан барои хӯлаи ибтидои ҳисоб карда шуданд. Инчунин барои хӯлаи таҳқиқшаванда энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванд, ки 128,5 кҶ/мол-ро ташкил дод муайян кардашуд. Барои хӯлаи бо таркиби калсий 0,5 ваз% буда, энергияи фаъолшави ба 104,9кДж/мол баробар аст (ҷадвали 1.3).

Барои омӯхтани раванди оксидшавии хӯлаи саҳти E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий (0,01 ваз% Са) ҷавҳаронидашуда силсилаи таҷрибаҳо гузаронида шуданд. Оксидшавӣ дар ҳароратҳои 723К 773К ва 823К гузаронида шуд. Барои ин равандҳо хатҳои кинетикӣ сохта шуданд (расми 3.2б), аз онҳо дида мешавад, ки бо зиёдшавии ҳарорат ва вақт, раванди оксидшавӣ низ зиёд мегардад, вале пас аз 20 дақиқаи оғози раванд, суръати оксидшавӣ қатъ ва доимӣ мешавад, ки дар 823К бузургии  $3,31 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>-ро соҳиб мешавад. Дар ин маврид энергияи фаъолшавии оксидшавии хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий (0,01 ваз.%) ҷавҳаронидашуда ба 124,1 кҶ/мол баробар мешавад. (ҷадвали 3.1).

Инчунин суръати оксидшавии хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), бо 0.05 ва 0.1 ваз.% калсий ҷавҳаронидашуда, омӯхта шуд. Тавре ки аз расмҳои 3.3а ва 3.3б дида мешавад, зиёдшавии концентратсияи ҷавҳаронидаи компоненти калсий, суръати оксидшавии ин хӯлаҳо низ каме зиёд мекунад - масалан, суръати оксидшавии хӯлаи бо миқдори калсий 0,01 ваз.% дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К, мутаносибан ба  $2,69 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,91 \cdot 10^{-4}$  ва  $3,31 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>, баробар аст, баъдан дар ҳамин ҳароратҳо суръати оксидшавии хӯлаи зикршуда ба миқдори калсий 0,05 ваз.% аз  $2,69 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,91 \cdot 10^{-4}$  ва  $3,31 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>, ва барои хӯлаи ҷавҳаронидашудаи 0,1 ваз.% калсий  $2,73 \cdot 10^{-4}$ ;  $2,94 \cdot 10^{-4}$  ва  $3,35 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>, мувофиқат мекунанд (расми 3.3 ва ҷадвали 3.1).



Энергияи фаъолшавии хӯлаҳои нишондодашуда, низ дар муқоиса бо хӯлаи таркибаш 0,01 ваз % Са - каме пасттар аст ва барои хӯлаи бо миқдори 0.05 ваз % Са 119,5 кҶ/мол ва барои хӯлаи бо миқдори 0,1 ваз% Са, 112,6 кҶ/мол-ро ташкил медиҳанд, ҳоло онки ҳангоми миқдори 0.01 ваз% Са, энергияи фаъолшавӣ баландтар 124,1 кҶ/мол-ро ташкил медед.

**Ҷадвали 3.1** - Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати саҳт

Миқдори калсий дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқӣ оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, кҶ/мол
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.01	723	2.69	124.1
	773	2.91	
	823	3.31	
0.05	723	2.73	119.5
	773	2.94	
	823	3.35	
0.1	723	2.77	112.6
	773	3.01	
	823	3.41	
0.5	723	2.81	104.9
	773	3.07	
	823	3.46	

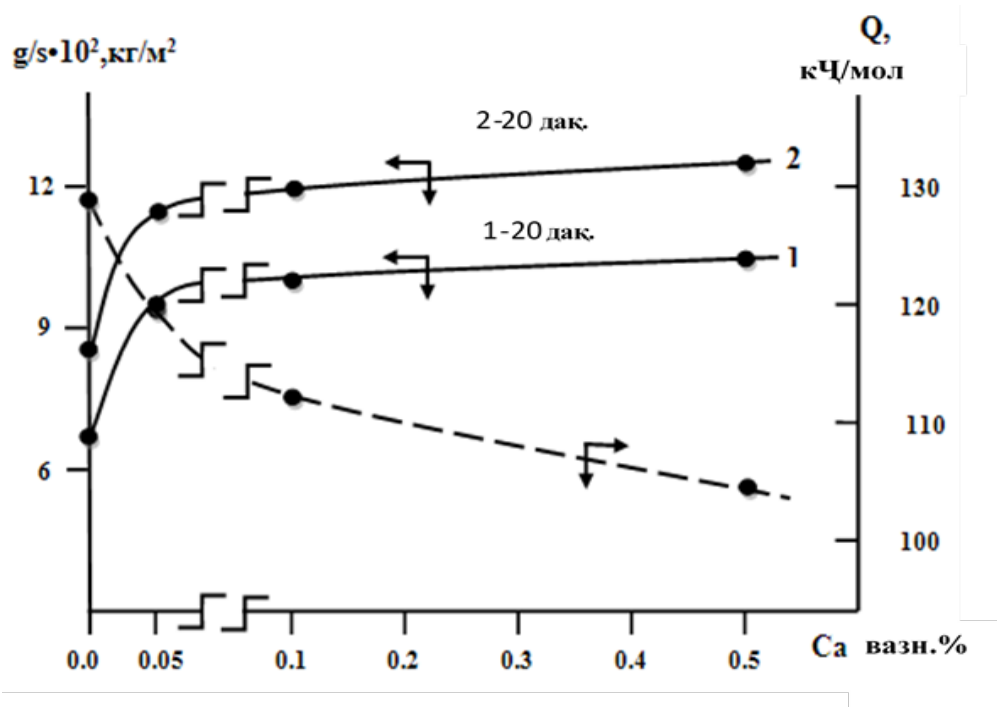
Фарқиати қиматҳои максималии суръати оксидшавии хӯлаи ҷавҳаронидашудаи 0,5 ваз % Са, мутаносибан дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К ба  $2,81 \cdot 10^{-4}$ ;  $3,07 \cdot 10^{-4}$  ва  $3,46 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  баробар аст. Инчунин барои ин хӯла қимати минималии энергияи фаъолшавӣ ҳамагӣ 104,9 кҶ/мол-ро ташкил мекунад.

Муайян карда шуд, ки афзоиши пуршиддати вазни хоси ин хӯлаҳо дар давоми 5-15 дақиқаи аввал аз оғози раванд ба амал меояд, яъне дар

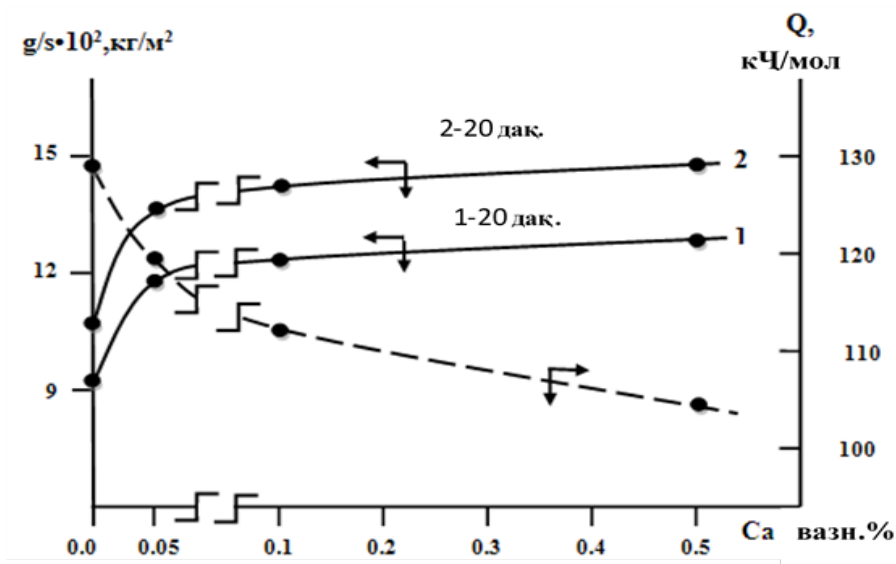
ин давра пардаи оксид ба қадри кофӣ пурра нест ва қувваи муҳофизатии сусти дорад.

Пас аз 20 дақиқаи оғози раванди оксидшавӣ пардаи муҳофизатӣ ташкил меёбад ва қобилияти оксидшавии хӯларо бозмедорад. Барои ташаккули пардаи оксиди вобастагии зерин қайд карда шуд: суръати оксидшавӣ бо баланд шудани ҳарорати раванд зиёд мешавад ва дар айни ҳол бо зиёд шудани ғафсии парда дар сатҳи хӯла суръати оксидшавӣ ба таври назаррас коҳиш ёфта, баъдан қад мегадарад.

Концентрацияи калсий 0,01 ваз.% дар хӯла ба оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») каме таъсир мерасонад. Зиёдшавии минбаъдаи концентрацияи калсий оксидшавии хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») -ро зиёд мекунад (расмҳои 3.4 ва 3.5).

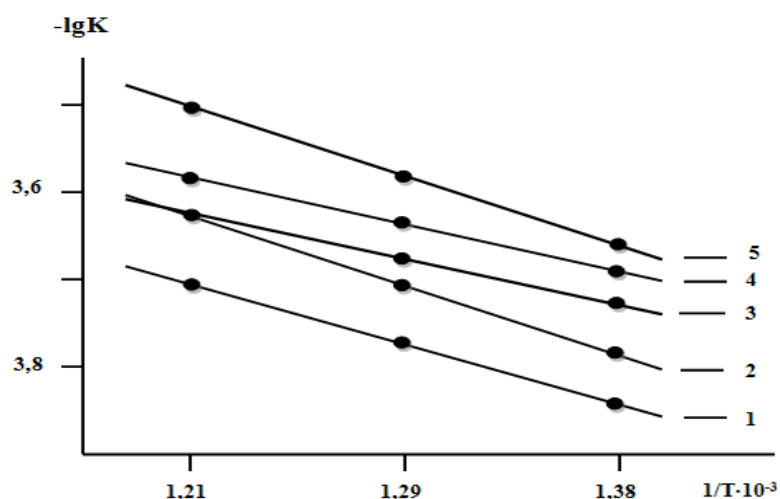


**Расми 3.4** – Изохрони оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий чавҳаронидашуда дар ҳарорати 723 К.



Расми 3.5 - Изохрони оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳарорати 823 К.

Барои хӯлаи омӯхташавандаи E-AlMgSi («алдрей»), ба миқдорҳои гуногун калсий (аз 0,01 то 0,5 вазн) ҷавҳаронидашуда, инчунин графикҳои вобастагии  $-\lg K$  аз ҳарорати мутақобила сохта шуд (расми 3.6) ва маълум кардашуд, ки раванди оксидшавии хӯлаҳои мавриди назар қарордошта ба таври хаттӣ мегузаранд.

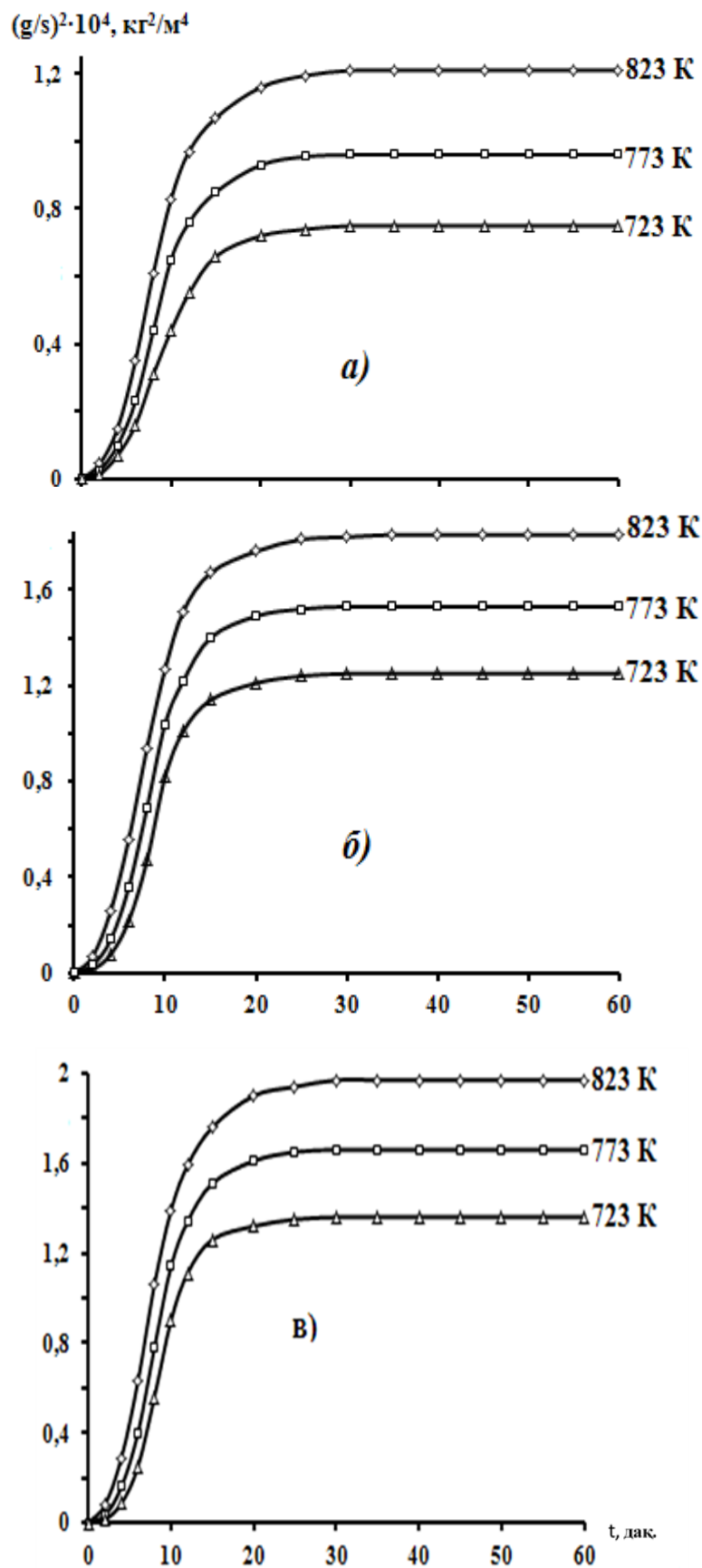


Расми 3.6 - Вобастагии  $-\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), бо калсий ҷавҳаронидашуда, вазн. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5).

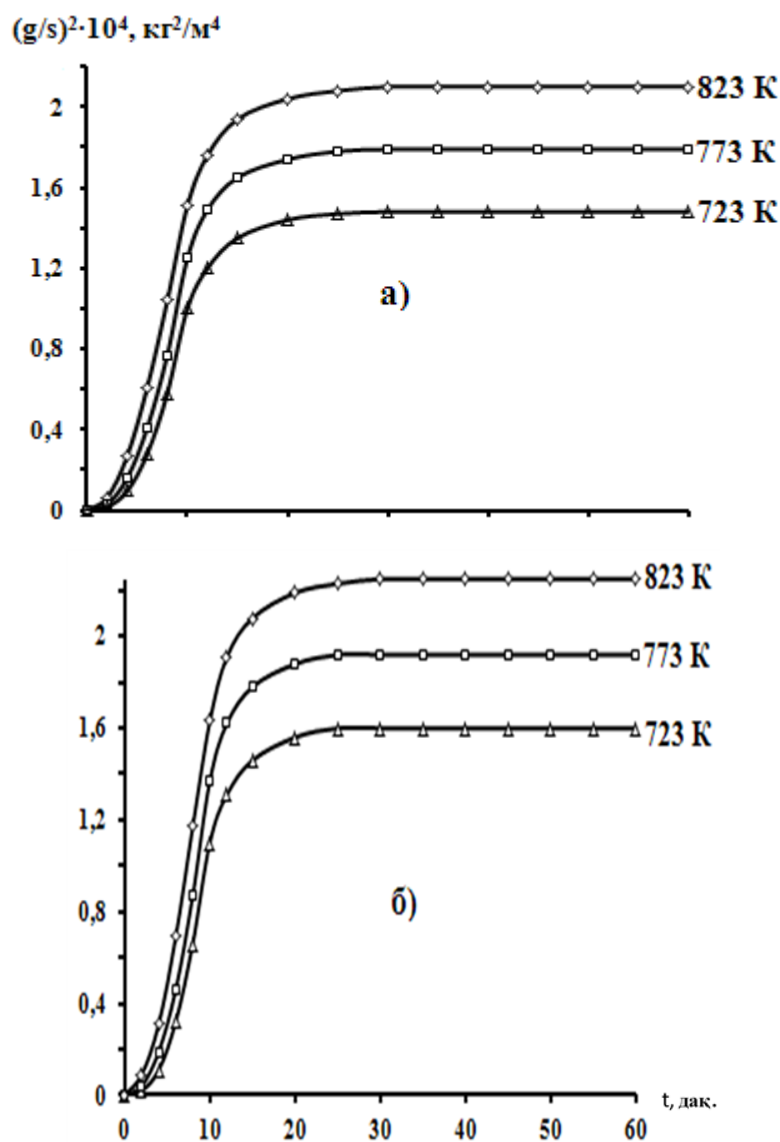
Дар ҷадвали 3.2 натиҷаҳои коркарди қачхатиҳои кинетикии оксидшавӣ дар шакли вобастагӣ  $(g/s)^2-t$  (расмҳои 3.7 ва 3.8) барои хӯлаҳои ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки таркибашон аз 0,01 то 0,5 ваз.% калсий доранд, оварда шудаанд. Қайд карда мешавад, ки қачхатиҳои кинетикии хӯлаҳо бо муодилаи гиперболии навъи  $Y=kx^n$  навишта мешаванд, ки дар инҷо  $n=1 \div 4$  аст.

**Ҷадвали 3.2 -** Полиномҳои қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт

Миқдори калсий дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффицент и регрессия R
0.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0.01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,011x^2 + 1,000x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,057x^2 + 1,426x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,078x^2 + 1,719x$	0,994
0.05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,001x^3 - 0,046x^2 + 1,260x$	0,974
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,414x$	0,987
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,002x^3 - 0,088x^2 + 1,840x$	0,995
0.1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,016x^2 + 1,122x$	0,978
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,404x$	0,984
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,073x^2 + 1,770x$	0,991
0.5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,022x^2 + 1,214x$	0,981
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,001x^3 - 0,047x^2 + 1,521x$	0,986
	823	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 + 0,002x^3 - 0,087x^2 + 1,924x$	0,993



Расми 3.7 - Качхатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), (а) бо 0,01(б); 0,05 (в) ваз% калсий.



Расми 3.8 - Качхатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо 0,1 (а); 0,5 (б) ваз. % калсий.

### 3.3. Таъсири кадмий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар ҳолати сахт [2-М]

Барои таҳқиқоти раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий, хӯлаи ибтитоӣ ба микдорҳои гуногуни кадмий, аз 0,01 то 0,5 % ҷавҳаронида карда шуд. Барои хӯлаҳои ҳосилнамуда бо таркибҳои пешниҳодшуда, характеристикаҳои кинетикӣ

ва энергетикӣ муайян карда шуданд (расмҳои 3.9-3.15, ҷадвалҳои 3.3 ва 3.4).

**Ҷадвали 3.3** - Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий, дар ҳолати сахт

Миқдори кадмий дар хӯла, мас.%	Температураи оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқӣ оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ, кДж/мол
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.01	723	2.73	119.9
	773	2.94	
	823	3.35	
0.05	723	2.77	114.2
	773	2.99	
	823	3.39	
0.1	723	2.81	107.0
	773	3.05	
	823	3.46	
0.5	723	2.86	99.5
	773	3.11	
	823	3.50	

Барои хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») параметрҳои кинетикӣ дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К муайян карда шуданд. Нишон дода шуд, ки пардаҳои муҳофизатӣ дар сатҳи хӯлаҳои таҳқиқшуда дар

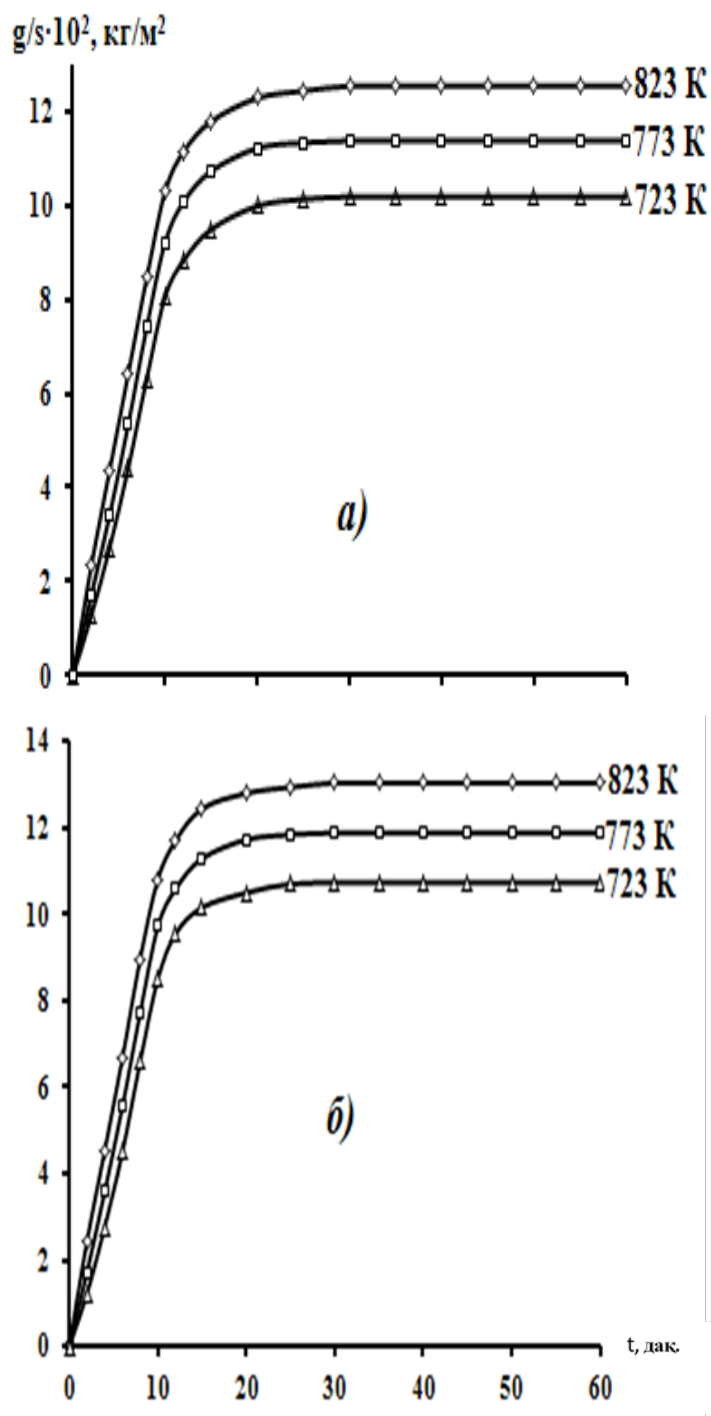
ибтидои раванд суст мебошанд, хосиятҳои муҳофизатии онҳо ҳанӯз ба кадри кофӣ ташаккул наёфтаанд ва суръати оксидшавӣ бо баланд шудани ҳарорати оксидшавӣ меафзояд, ки аз ҷадвали 3.3 дида мешаванд. Оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо миқдорҳои кадмий 0,01 ва 0,05 ваз.% (расми 3.9) бо ташакулёбии пардаи оксиди дар рӯи хӯлаҳои таҳқиқшаванда хело суст мегузарад, ки он махусан дар марҳилаи ибтидоии ташаккули пардаи муҳофизатӣ намоён аст. Инчунин дидан мумкин аст, ки ҳарорати раванд ва давомнокии он ба оксидшавии хӯлаҳо таъсири ҷиддӣ намерасонад, яъне суръати оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшаванда каме зиёд мешавад.

Суръати оксидшавӣ бо формулаи  $K = g/s \cdot \Delta t$ , ҳисоб карда мешавад, бинобар ин суръати оксидшавӣ барои хӯлаи бо 0,01 ваз.% кадмий ҷавҳаронида дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К ба  $2.73 \cdot 10^{-4}$ ;  $2.94 \cdot 10^{-4}$  ва  $3.35 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>, мувофиқан. Барои хӯлаи бо 0,05 ваз.% кадмий ҷавҳаронида, суръати оксидшавӣ якҷад маротиба зиёд буда,  $2.77 \cdot 10^{-4}$ ,  $2.99 \cdot 10^{-4}$  ва  $3.39 \cdot 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> –ро, мувофиқан дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К, ташкил медиҳанд. Инчунин барои раванди оксидшавии хӯлаҳои нишондодашуда энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ ҳисоб кардашуд, ки барои хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»)–и таркибаш 0.01 ваз.% Cd, 119.9 кДж/мол ва барои хӯлаи таркибаш 0.05 ваз.%, 114.2 кДж/мол–ро ташкил медиҳанд. Дар асоси таҷрибаҳои гузаронидашуда нишон дода шуд, ки бо зиёд шудани миқдори кадмий дар хӯла, энергияи намоён фаъолшавӣ майли камшавӣ дорад, ки инро низ аз ҷадвали 3.3 дидан мумкин аст.

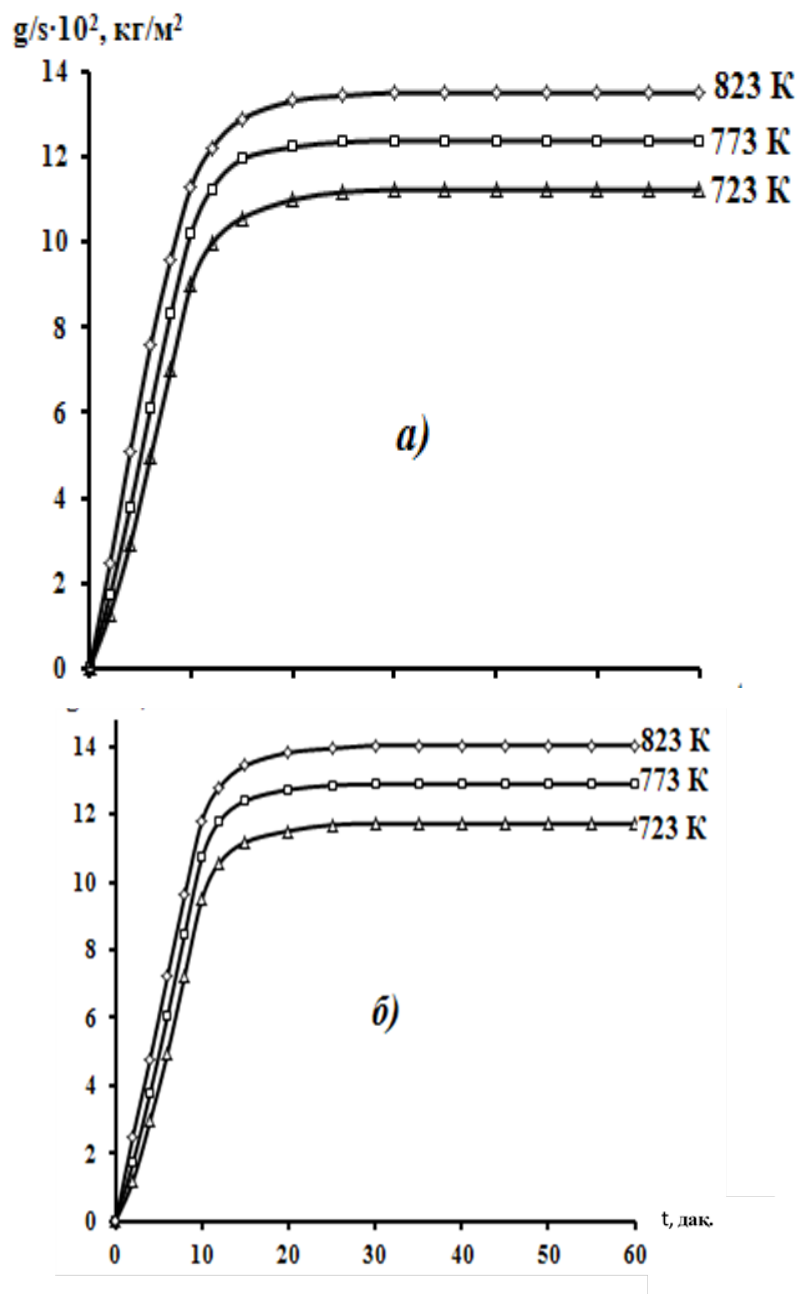
Қаҷхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо таркиби 0,1 ва 0,5 ваз.% кадмий (расми 3.10) сохта шуда, нишон дода шуд, ки дар доираи ҳароратҳои омӯхташаванда (аз 723 то 823 К), суръати оксидшавии хӯлаҳои нишондодашуда дар ибтидои раванди оксидшавӣ (баъди 15 дақиқа аз оғози раванд) ба таври хаттӣ зиёд шуда, баъдан шакли параболаро мегирад, яъне раванд бо гузашти вақт суст мешавад. Аз маълумотҳои расми 3.10 ба чунин хулоса



омадан мумкин аст, ки дар марҳилаи аввали раванди оксидшавӣ дар сатҳи хӯлаҳои таҳқиқшаванда ҳосилшавии пардаи муҳофизатӣ хусусияти нуқтавӣ дошта, баъдан бо гузашти вақти муайян дар рӯи хӯлаҳо пардаи зич аз оксиди алюминий ҳосил мешавад.

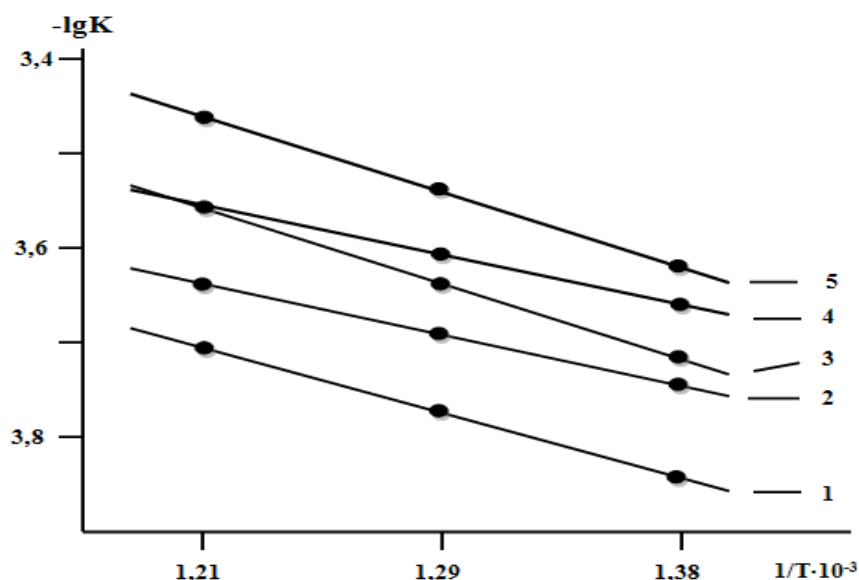


**Расми 3.9 -** Качхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), бо 0,01 (а); 0,05 (б) ваз. % кадмий



**Расми 3.10** - Качхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий, ваз. %: 0,1 (а); 0,5 (б)

Барои хӯлаи ноқили E-AlMgSi («алдрей»), ки дорои консентратсияҳои гуногуни кадмий мебошад, вобастагии логарифмии  $-\lg K$  аз  $1/T$  сохташуд (расми 3.11). Тавре ки аз расми 3.11 дида мешавад, хати марбут ба хӯлаи ҳолисӣ E-AlMgSi («алдрей») дар зер ҷойгир буда, хатҳои дар боло овардашуда бо тартиби зиёдшавии миқдори компоненти ҷавҳаронидашудаи кадмий ба хӯлаҳо таълуқ доранд.

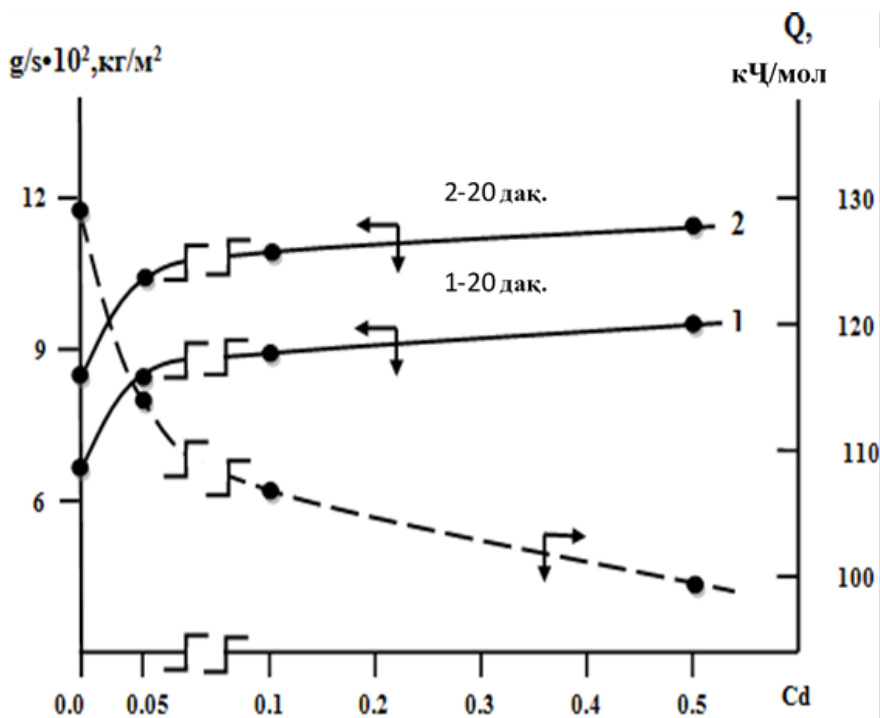


**Расми 3.11** - Вобастагии  $-\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), (1) бо кадмий, ваз. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5)

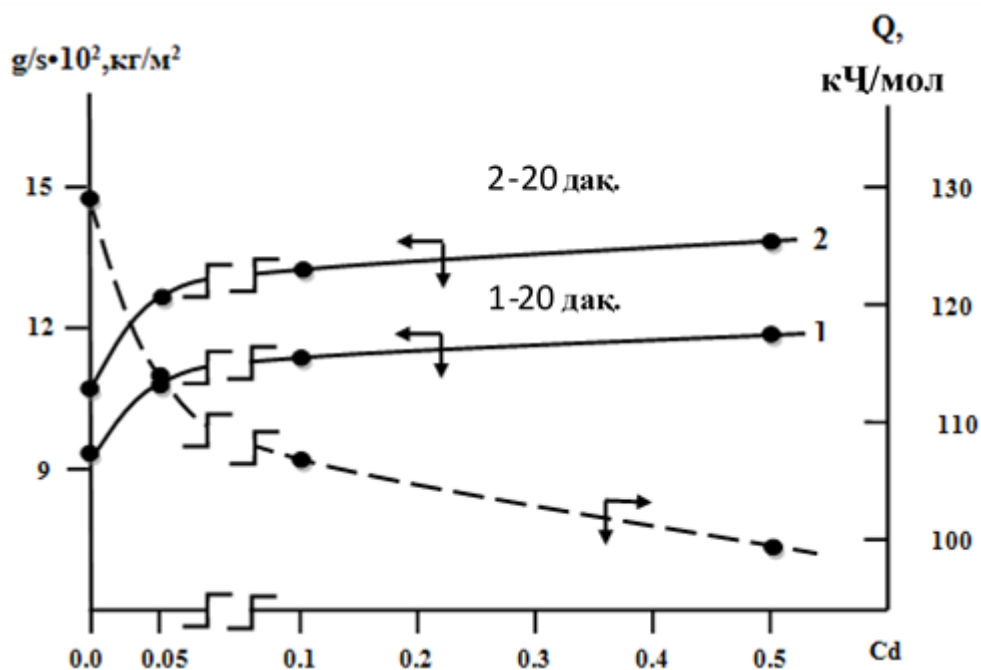
Сипас, барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки концентратсияҳои гуногуни кадмий дорад, изохронҳои оксидшавӣ сохта шуда, дар расмҳои 3.12 ва 3.13 пешниҳод карда шудаанд. Хатҳои қач зиёдшавии яқрании суръати оксидшавиро бо зиёдшавии ҳарорат ва миқдори кадмий дар тамоми чараёни оксидшавӣ тавсиф менамоянд (баъди 10 дақиқа - қачи 1, пас аз 20 дақиқа - қачи 2). Чи тавре аз расмҳои 3.12 ва 3.13 дида мешавад, концентратсияи компоненти ҷавҳаронида дар хӯлаи таҳқиқшаванда ба суръати оксидшави таъсир мерасонад, ки аз вобастагии бузургии энергияи фаъолшави аз миқдори кадмий дар хӯла эҳтимолии мешавад.

Қачхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳои омӯхташуда ғайрихаттӣ мебошанд, яъне метавон қайд кард, ки оксидшавии хӯлаҳо шакли гипербола дорад (расмҳои 3.14 ва 3.15). Барои тасдиқи ғайрихаттӣ будани қачхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), ки дорои концентратсияҳои гуногуни кадмий мебошад, полиномҳои қачхатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи

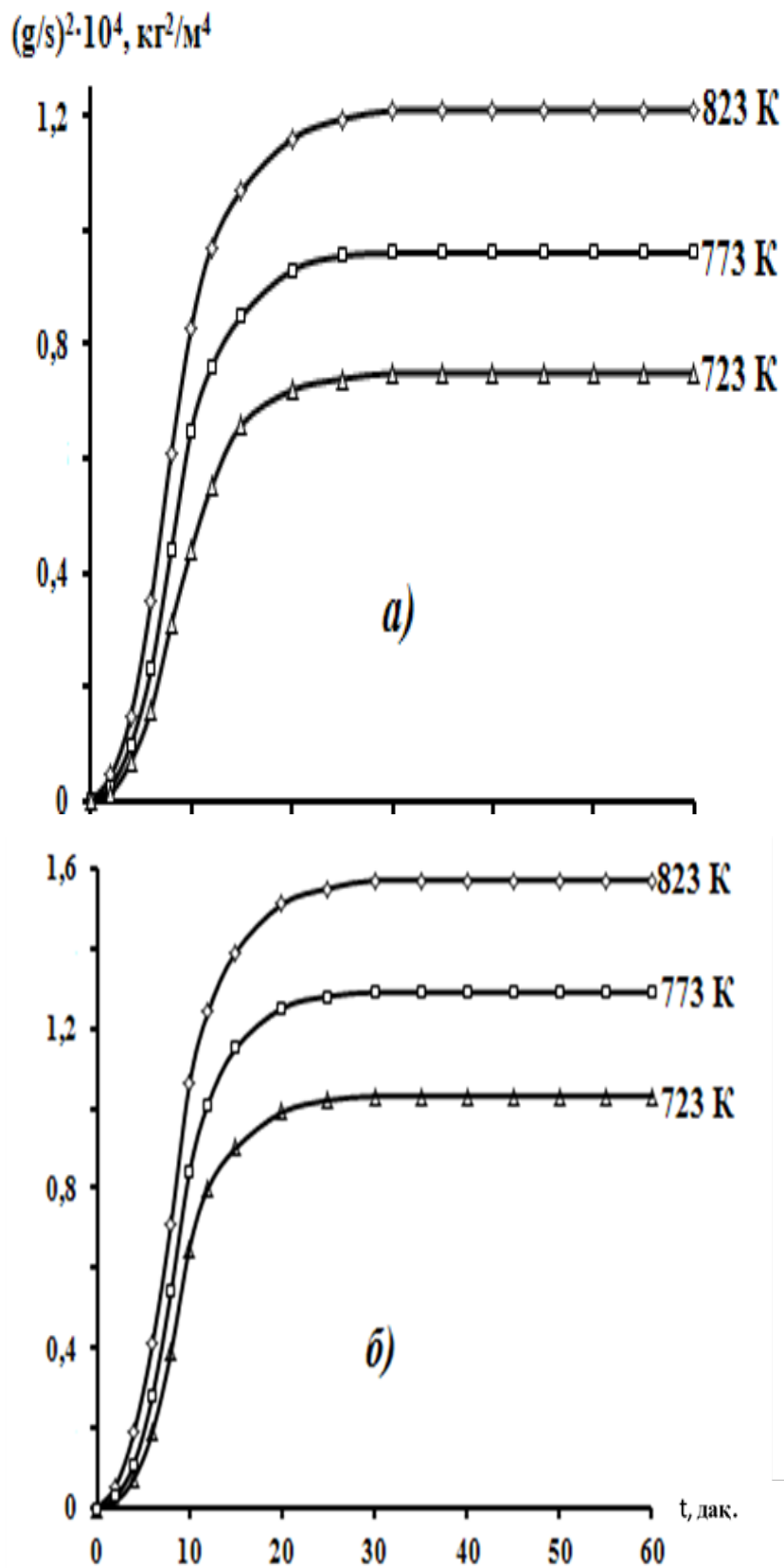
E-AlMgSi («алдрей») бо микдорҳои гуногуни кадмий ҳосил карда шуд, ки маълумотҳо дар ҷадвали 3.4 нишон дода шудааст.



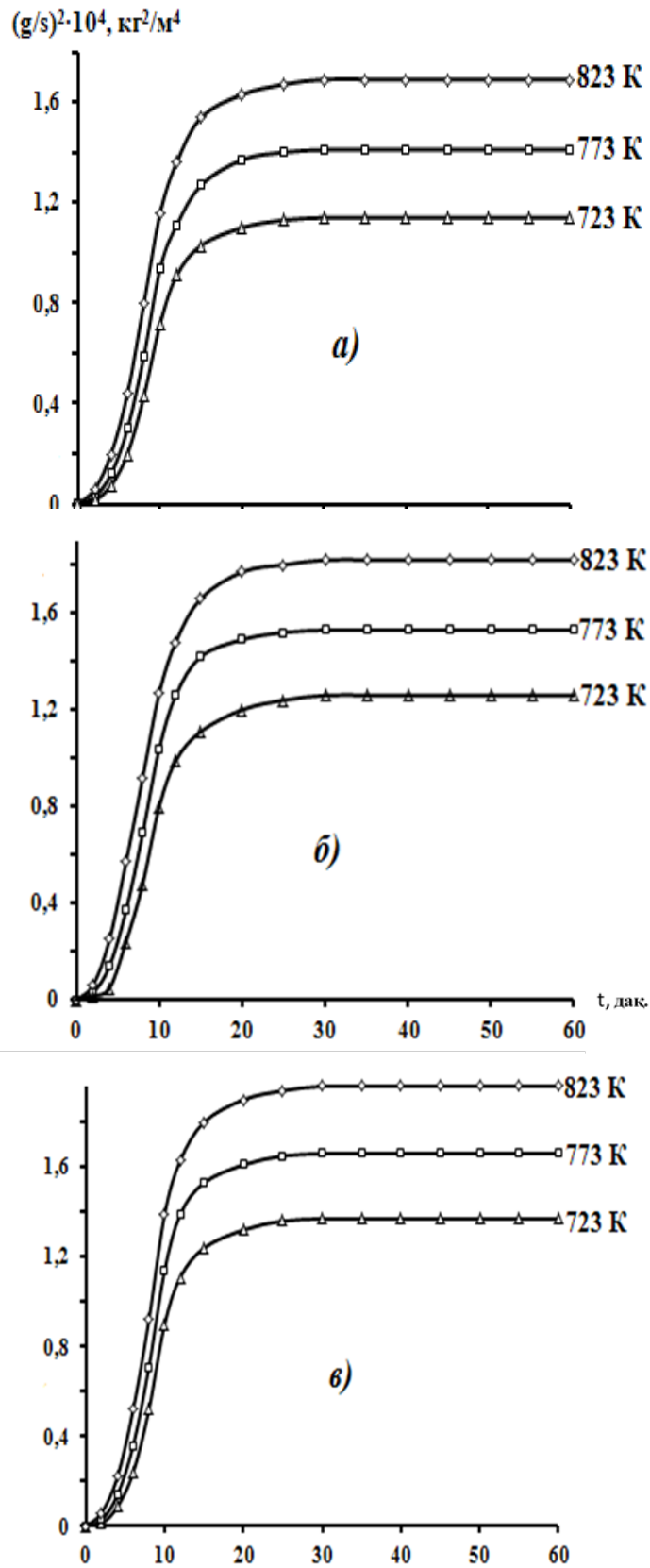
Расми 3.12 - Оксидшавии изохронии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий дар ҳарорати 723 К



Расми 3.13 - Оксидшавии изохронии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий дар ҳарорати 823 К



Расми 3.14 - Қаҷхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (а) бо 0,01 ваз.% Cd (б)



Расми 3.15 - Качхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо 0,05 (а); 0,1 (б) ва 0,5 (в) ваз.% кадмий

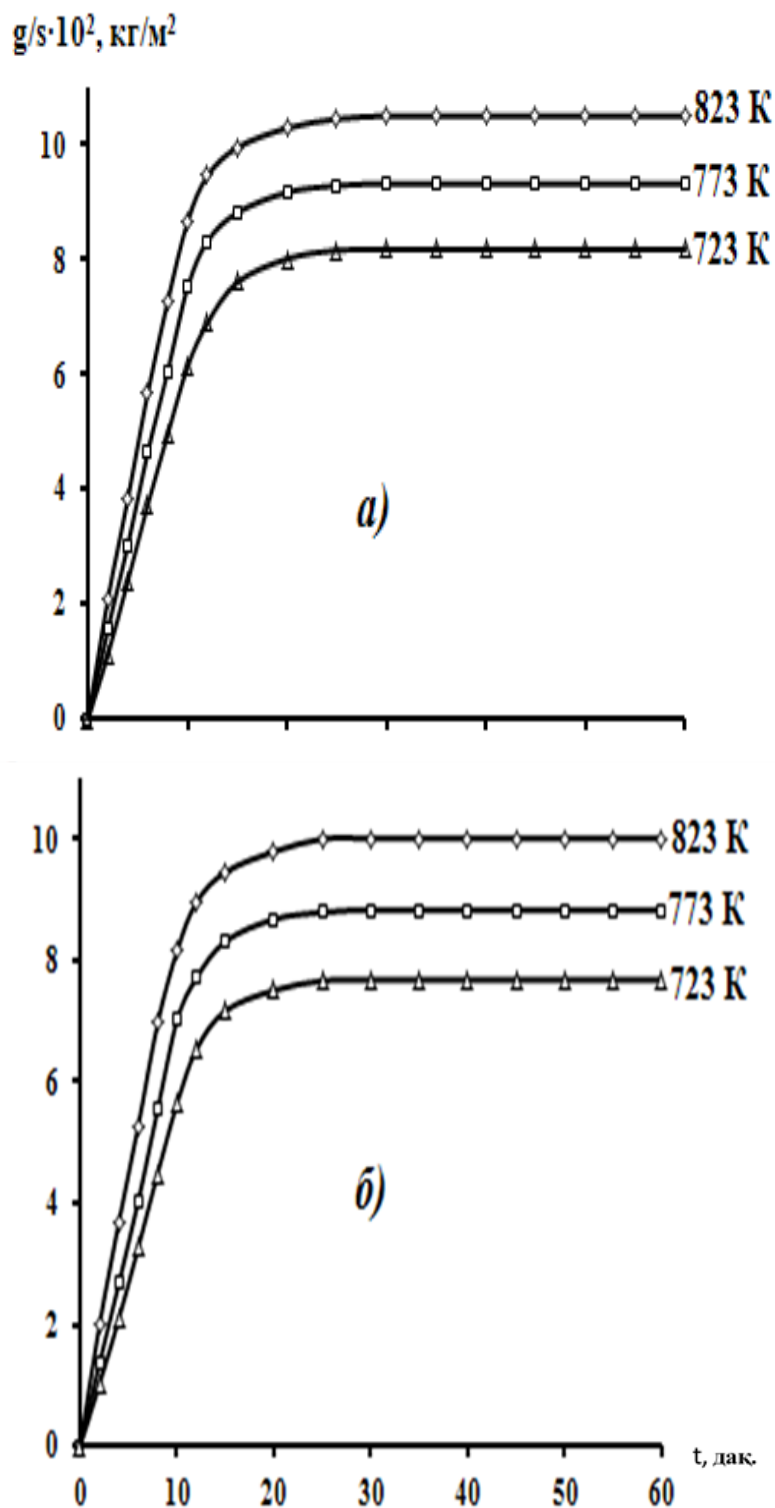
**Ҷадвали 3.4 - Полиномҳои қатъатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи  
ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо микдорҳои гуногуни кадмий  
дар ҳолати сахт**

Микдори кадмий дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавиния, К	Полиномҳои қатъатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Коэффициент регрессии R %
0.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0.01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,016x^2 + 0,934x$	0,987
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,5 \cdot 10^{-7}x^3 - 0,032x^2 + 1,168x$	0,989
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-3}x^4 + 0,001x^3 - 0,057x^2 + 1,455x$	0,993
0.05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,000x^3 - 0,011x^2 + 0,95x$	0,983
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,414x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,001x^3 - 0,059x^2 + 1,526$	0,992
0.1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,017x^2 + 1,033x$	0,984
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,5 \cdot 10^{-1}x^3 - 0,038x^2 + 1,321x$	0,987
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,073x^2 + 1,770x$	0,994
0.5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-3}x^4 - 0,001x^3 - 0,011x^2 + 1,042x$	0,980
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,033x^2 + 1,323x$	0,984
	823	$y = -0,7 \cdot 10^{-9}x^4 + 0,001x^3 - 0,062x^2 + 1,636x$	0,990

**3.4. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронида дар ҳолати сахтӣ [2, 12-М]**

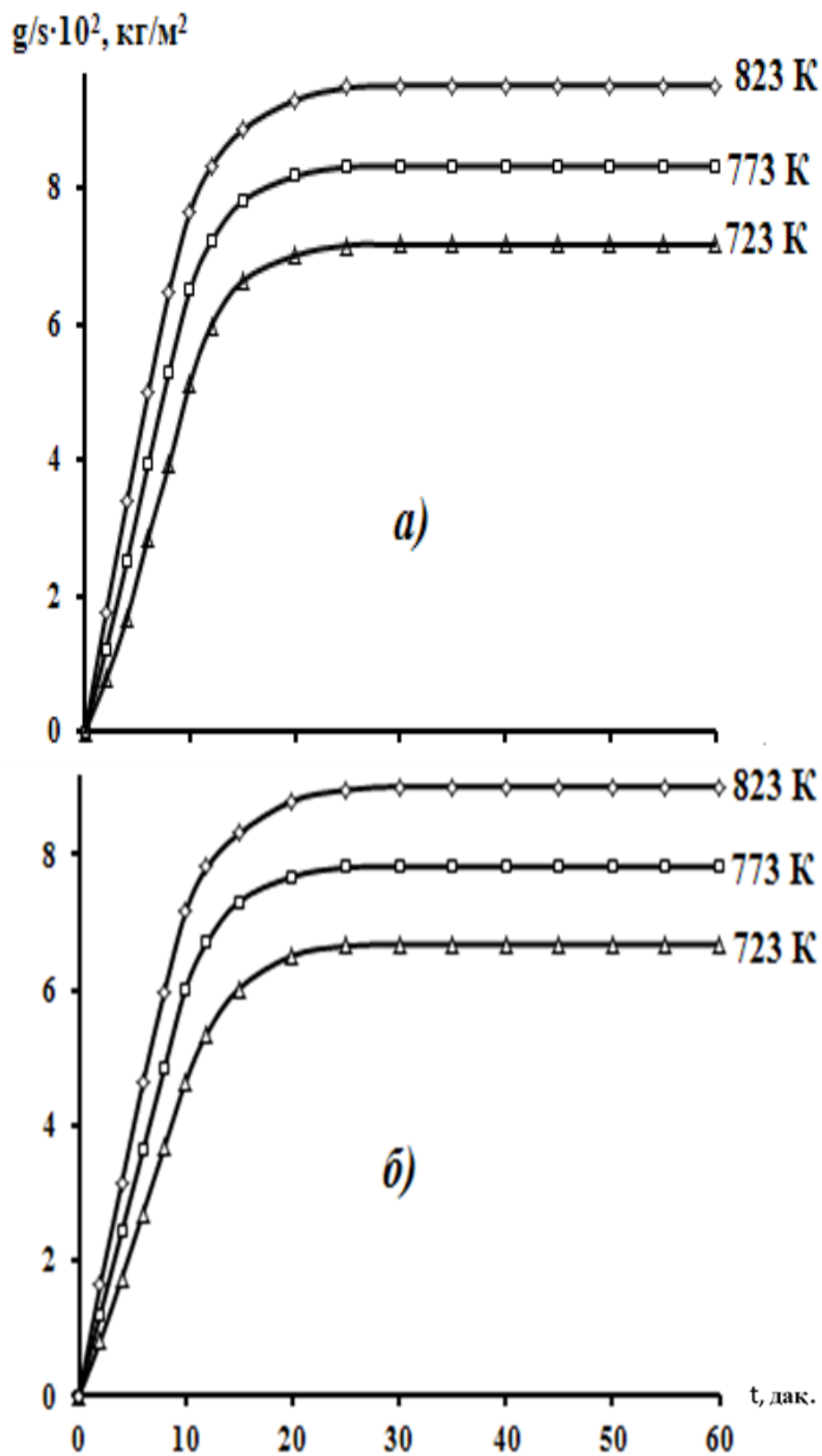
Омӯзиши раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма аз 0,01 то 0,5 ваз.%, ҷавҳаронида дар ҳароратҳои 723, 773 ва 823 К гузаронида шуд. Таркиби химиявии хӯлаҳо ва

натичаҳои таҳқиқотҳо ба таври графикӣ дар расмҳои 3.16-3.22 ва ҷадвалҳои 3.5 ва 3.6 ҷамъбаст карда шудаанд.



Расми 3.16 - Қачхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо 0,01 (а); 0,05 (б) ваз% сурма





Расми 3.17 - Качхатиҳои кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронида, ваз %: 0,1 (а); 0,5 (б)

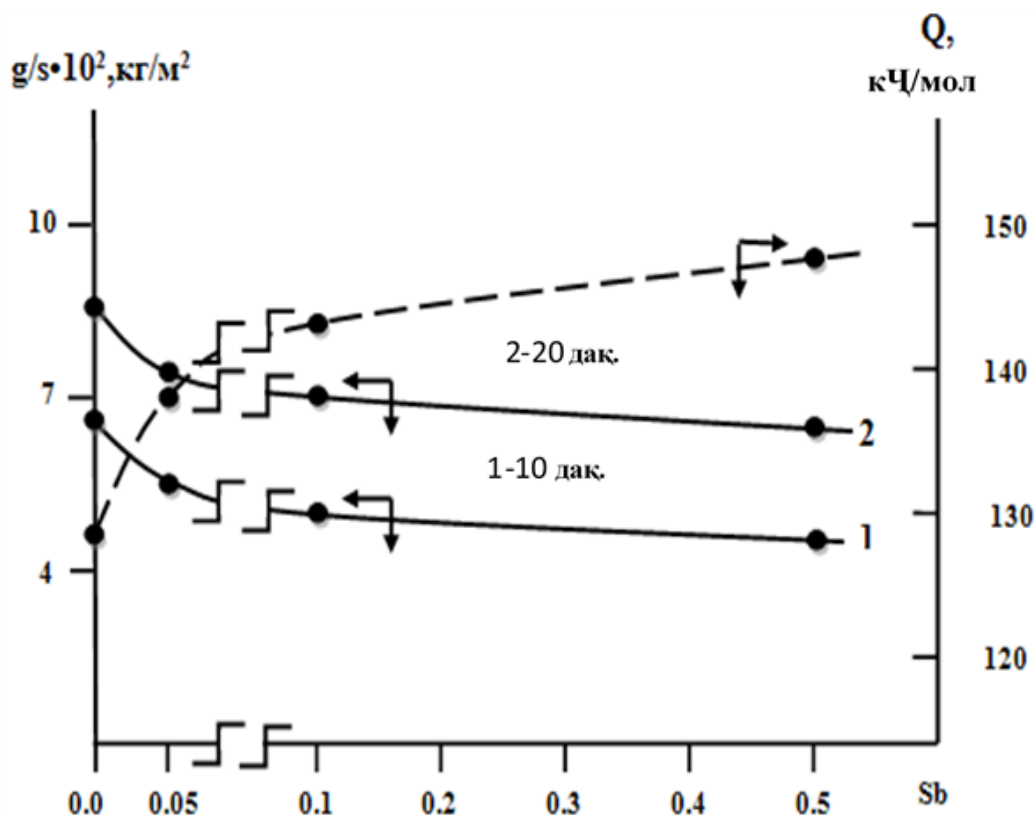
**Ҷадвали 3.5** – Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи сахтӣ ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронида

Миқдори сурма дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ кҶ/мол
0.0	723	2.67	128.5
	773	2.89	
	823	3.28	
0.01	723	2.62	133,0
	773	2.84	
	823	3.24	
0.05	723	2.58	137.9
	773	2.80	
	823	3.19	
0.1	723	2.53	140.6
	773	2.75	
	823	3.14	
0.5	723	2.48	143.2
	773	2.70	
	823	3.09	

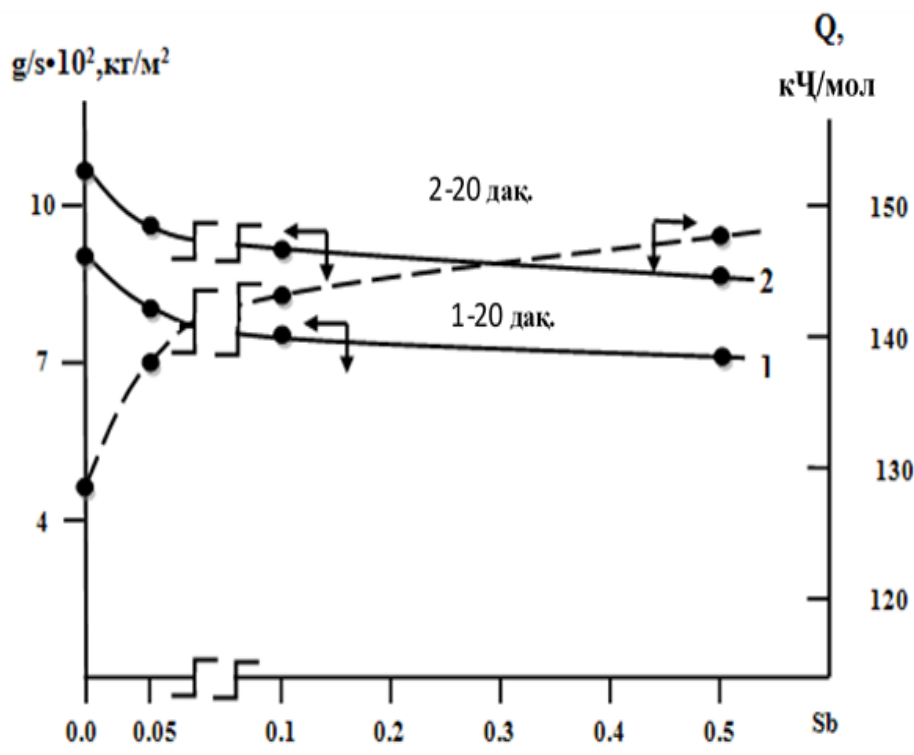
Динамикаи афзоиши вазни хоси намунаҳо вобаста ба вақт ва ҳарорат барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронида, ки дар расми 3.16 нишон дода шуда, афзоиши суръати оксидшавии хӯлаи таҳқиқшавандаро ҳангоми баланд шудани ҳарорати раванди оксидшавӣ нишон медиҳад. Дар сатҳи хӯлае, ки миқдори компоненти чавҳаронидашудаи сурма (0,01 ваз%) аст, дар муқоиса бо хӯлаҳои, ки дорои миқдори зиёди сурма (0,05; 0,1 ва 0,5 ваз% Sb) чавҳаронида шудаанд, оҳиста бо гузашти вақт пайдо шудани пардаи

муҳофизатӣ мушоҳида мешавад, ки ин вобастагиро аз ҷадвали 3.5 дидан мумкин аст. Ин қонуниятҳои механизми оксидшавии хӯлаҳо бо он шарҳ додан мумкин аст, ки оксидҳои мураккаб дар рӯи хӯлаҳо, ки дорои миқдори зиёди компоненти ҷавҳаронидаи сурмадоранд, ба вучуд меоянд, ки онҳо мувофиқан хусусиятҳои муҳофизатии хело мустаҳкамро доранд.

Аз расми 3.17 айён аст, ки қачхатиҳои кинетикии барои хӯлаҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо миқдорҳои гуногун сурмадор сохта шуда, нишон медиҳанд, ки бо пастшавии суръати оксидшавии хӯлаҳо ва мувофиқан афзоиши энергияи эҳтимолии фаъолшавӣ иҷро мегирад (ҷадвали 3.5).



Расми 3.18 - Оксидшавии изохронии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳароратӣ 723 К

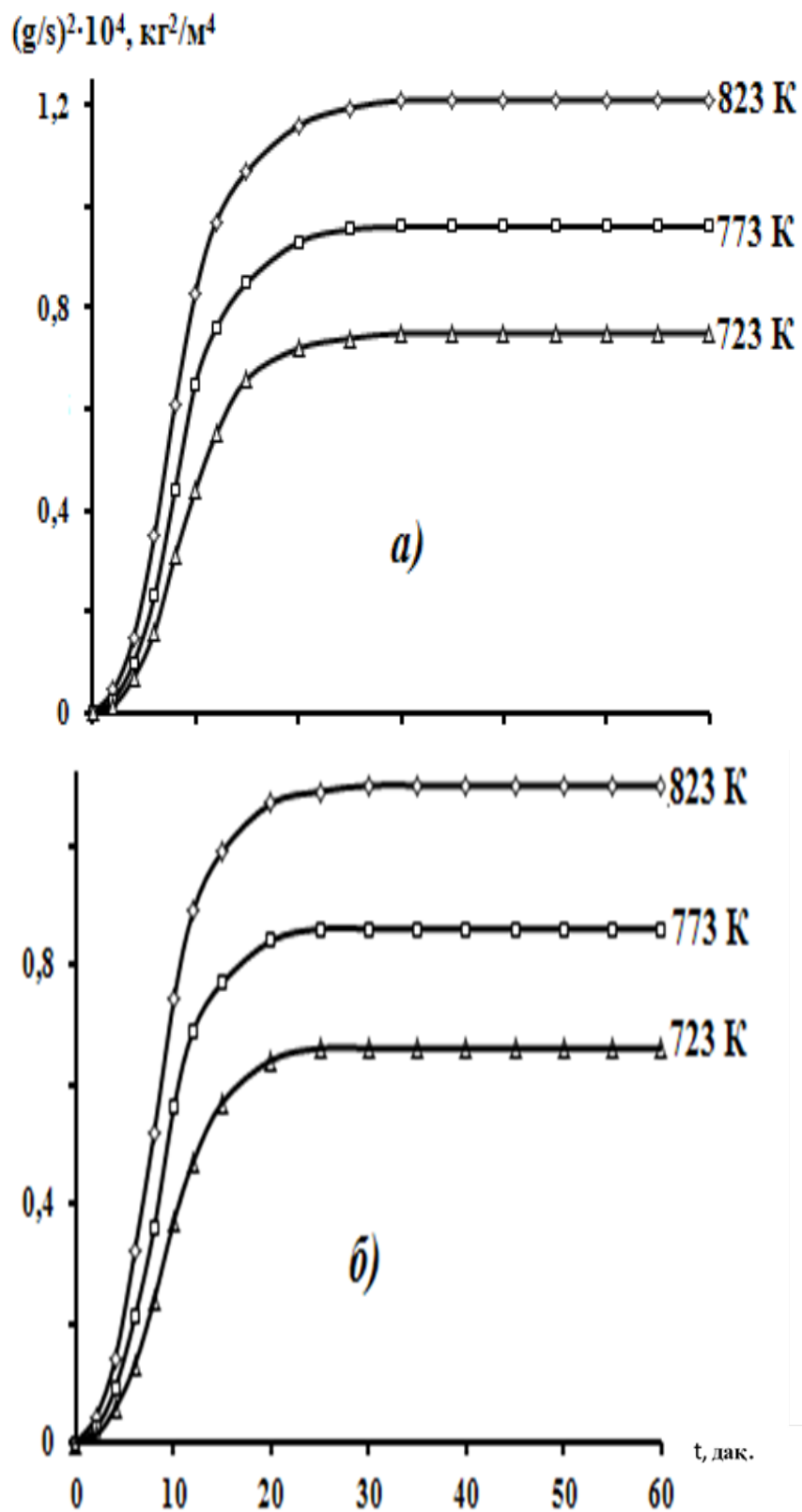


Расми 3.19 - Оксидшавии изоҳронии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда дар ҳарорати 823 К

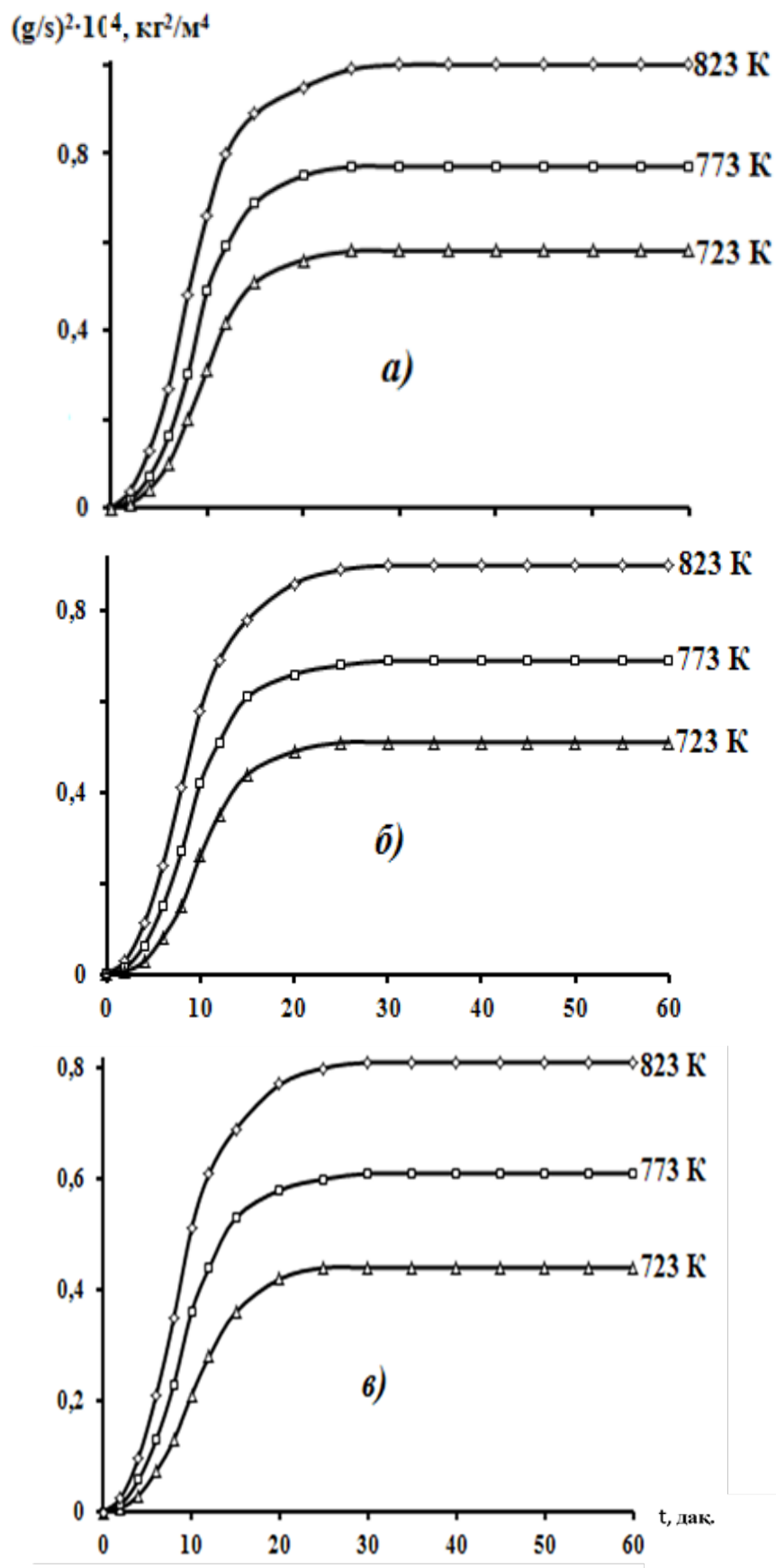
Дар шакли умумӣ изоҳронҳои оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда, ҳангоми 10 ва 20 дақиқа дар расмҳои 3.18 ва 3.19 оварда шудаанд. Илова кардани сурма суръати оксидшавии хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей»)ро каме коҳиш медиҳад, ки инро аз афзоиши қиматҳои энергияи эҳтимолии фаъолшавии хӯлаҳо дидан мумкин аст.

Дар ҷадвали 3.6 натиҷаҳои коркарди қачхатҳои квадрати кинетики оксидшавӣ дар шакли вобастагии  $(g/s)^2-t$  (расмҳои 3.20 ва 3.21) барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ба миқдори аз 0,01 то 0,05 ваз% сурма дошта, оварда шудаанд. Бояд хулоса кард, ки табиати оксидшавии хӯлаҳо ба вобастагии гипербола иттифоқ мекунад.

Вобастагии  $-\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма чавҳаронидашуда, хати рост аст, ки ин аз ростхатта будани раванди оксидшавии хӯлаи таҳқиқшаванда шаҳодат медиҳад (расми 3.22).



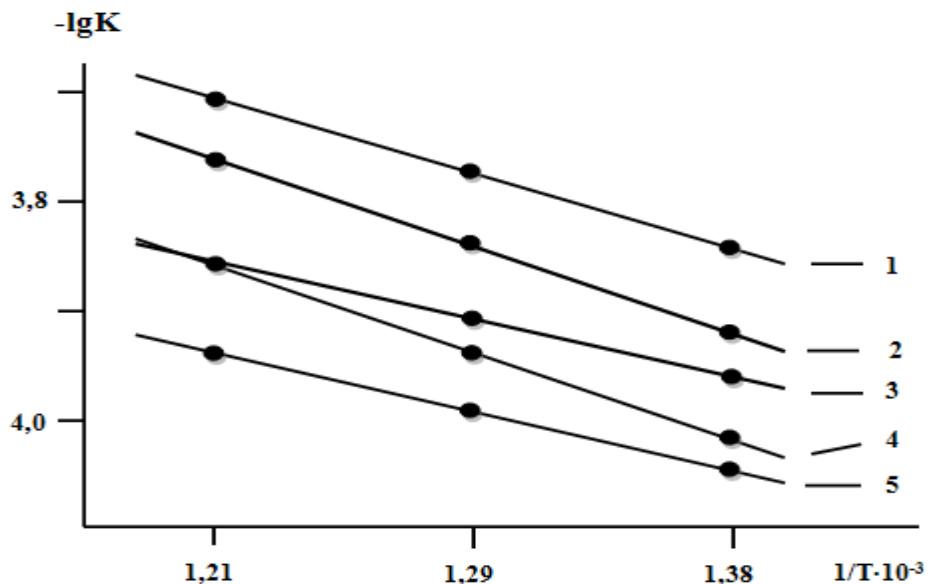
Расми 3.20 - Качхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), (а) бо 0,01 (б) ваз.% сурма



Расми 3.21 - Қачхатиҳои квадрати кинетикии оксидшавии хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), бо 0,05 (а); 0,1 (б) ва 0,5 (в) ваз% сурма

**Ҷадвали 3.6 - Полиномҳои қадҳатиҳои квадратии кинетикии барои оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо микдорҳои гуногуни сурма ҷавҳаронидашуда**

Миқдори сурма дар хӯла, ваз.%	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномҳои қадҳатиҳои квадратии кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Кoeffициенти регрессии R %
0.0	723	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,044x^2 + 0,973x$	0,981
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-5}x^4 + 0,001x^3 - 0,038x^2 + 1,109x$	0,988
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-8}x^4 + 0,002x^3 - 0,041x^2 + 1,289x$	0,994
0.01	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,001x^3 - 0,015x^2 + 0,759x$	0,991
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,001x^3 - 0,033x^2 + 1,007x$	0,992
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-7}x^4 + 0,001x^3 - 0,055x^2 + 1,283x$	0,995
0.05	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,008x^2 + 0,659x$	0,989
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,001x^3 - 0,022x^2 + 0,876x$	0,990
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-6}x^4 + 0,001x^3 - 0,051x^2 + 1,210x$	0,995
0.1	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 + 0,001x^2 + 0,534x$	0,989
	773	$y = -0,5 \cdot 10^{-1}x^4 - 0,001x^3 - 0,022x^2 + 0,831x$	0,992
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-4}x^4 + 0,001x^3 - 0,045x^2 + 1,110x$	0,995
0.5	723	$y = -0,5 \cdot 10^{-2}x^4 - 0,001x^3 - 0,002x^2 + 0,516x$	0,992
	773	$y = -0,6 \cdot 10^{-9}x^4 - 0,001x^3 - 0,019x^2 + 0,768x$	0,993
	823	$y = -0,6 \cdot 10^{-2}x^4 + 0,001x^3 - 0,04x^2 + 1,021x$	0,994



Расми 3.22 - Вобастагии  $-\lg K$  аз  $1/T$  барои хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей»), (1) бо сурма, ваз. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5)

### 3.5. Хулоса оид ба боби 3

Омӯзиши рафтори хӯлаҳои гуногуни металлӣ дар муҳитҳои фаъол дар ҳароратҳои баланд масъалаи муҳим ва актуалӣ мебошад, зеро қариб амалан ҳама металлҳо ё хӯлаҳо, ки дар равандҳои технологӣ истифода мешаванд, дар муҳити онҳо вайрон мешаванд - ё дар онҳо зангзанӣ ё оксидшавӣ мегузарад ё ба онҳо ҳарорати баланд таъсири манфӣ мерасонад. Бинобар ин дар назди материалшиносӣ вазифаҳои таъхирнопазир барои ҳалли масъалаҳои назариявӣ дароз кардани мӯҳлати истиодабарии металлҳо ва хӯлаҳо, таҳқиқи хосиятҳои кинетикӣ, энергетикӣ ва термодинамикӣ истодааст. Барои дида баромадани тавсифоти нишондодашудаи металлҳо ва хӯлаҳо, камкунии равандҳои оксидшавӣ ва зангзанӣ, зарурияти омӯзишӣ хосиятҳои физикию-химиявӣ ва хосиятҳои пардаҳои мӯҳофизативӣ, ки дар натиҷаи ҳосил шудани оксидҳо дар сатҳи металлҳо ва хӯлаҳо ба вуҷуд меоянд, бамиён гузошт. Қонуният муқаррар кардааст, ки агар ҳаҷми оксидҳои дар сатҳи металл ё хӯла ба вуҷуд омада, аз ҳаҷми худ металлҳо ё хӯлаҳо камтар бошад, пардаи мӯҳофизативӣ рӯи онҳо ковок мешавад, на яклухт,



ки ин таъсири манфӣ ба оксидшавии металлҳо ва хӯлаҳо мерасонад. Оксиген дар ин ҳолат дастрасии озод ба сатҳ дошта, раванди оксидшавиро пурқувват ва метезонад. Ҳангоме, ки маҳсулотҳои оксидшаванда моддаҳои саҳти ғйирипаррон мебошад, таҳшиншавии онҳо дар сатҳи берунии металлҳо ё хӯлаҳо мегузарад, бинобар ин ҳосилшавии қабати оксиди муҳофизатӣ иҷро мегардад. Агар пардаҳои муҳофизатӣ зич ташаккул ёбанд, дар онҳо сурохиҳо мавҷуд нест, он гоҳ оксиген мумкин ба сатҳи металл ё хӯла танҳо бо чуқур ворид шудан ба фазаи саҳт мегузарад. Оксидҳои элементҳои химиявии ҷавҳаронидашуда, дар таркиби оксидҳои муҳофизаткунандаи хӯла мавҷуданд, ки диффузияи оксигенро ба сатҳи хӯла душвор намуда ва ҳамин тариқ раванди умумии оксидшавиро суст мекунад.

Дар ҷадвали 3.7 ҷамъбасти натиҷаҳои таҳқиқотҳои гузаронидашудаи хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей») оварда шуда, бо омӯзиши тағйирёбии энергияи эҳтимолии фаъолшавии оксидшавӣ дар вобаста аз консентратсияи компонентҳои ҷавҳаронидашудаи калсий, кадмий ва сурма, қимати максималии энергияи фаъолшавӣ барои хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), ҷавҳаронидашудаи 0,5 ваз% Sb 143,2 кҶ/мол, қимати минималӣ барои хӯлаи бо таркибаш 0,5 ваз% кадмий мувофиқ қайд шудаанд.

**Ҷадвали 3.7 - Вобастагии энергияи эҳтимолии фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳолати саҳт**

Миқдори кампанентҳои ҷавҳаронидашуда дар хӯла, ваз.%	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
Калсий	128.5	124.1	119.5	112.6	104.9
Кадмий		119.9	114.2	107.0	99.5
Сурма		133.0	137.9	140.6	143.2

Дар асоси таҳқиқотҳои гузаронида кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда дар ҳолати сахт, ошкор карда шуд:

1. Оксидшавии хӯлаҳои баррасишуда, мувофиқи қонуни гипербола ҷараён мегирад ва дараҷаи суръати оксидшавии  $\sim 10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> доро мебошанд;

2. Хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий баландтарин суръати оксидшавиро ва хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), бо сурма ҷавҳаронидашуда пасттарин суръати оксидшавиро доро мебошанд.

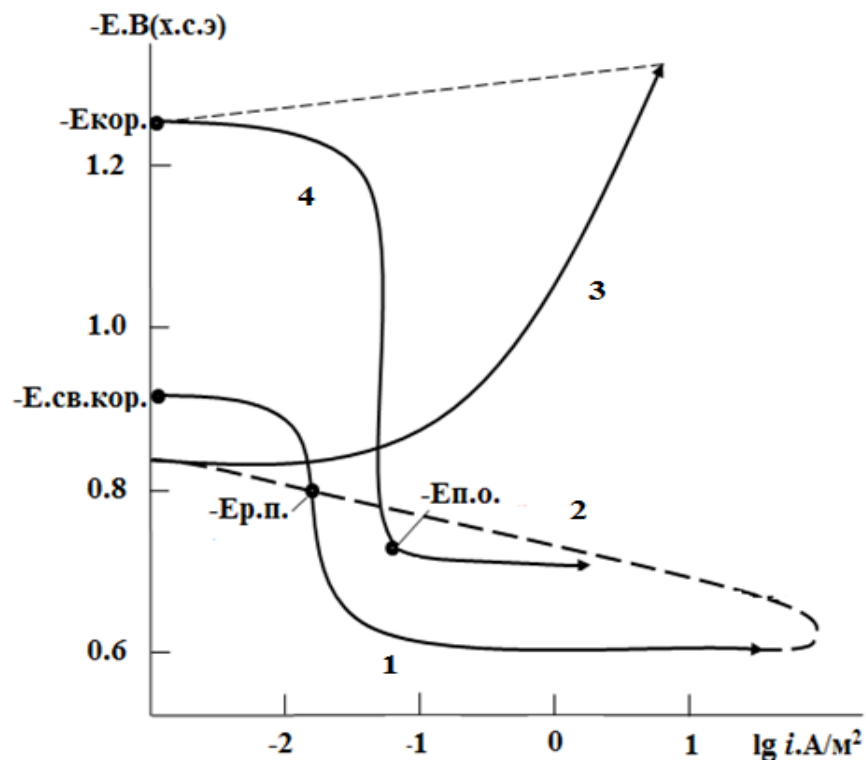
## БОБИ 4. РАФТОРИ АНОДИИ ХҶЛАИ НОҚИЛИ АЛЮМИНИЙИ E-AlMgSi («алдрей»), БО КАЛСИЙ, КАДМИЙ ВА СУРМА ҶАВҶАРОНИДАШУДА ДАР МУҶИТИ ЭЛЕКТРОЛИТИ NaCl

### 4.1. Усули таҳқиқоти хосиятҳои зангзани –электрохимиявии хӯлаҳо

Барои таҳқиқоти электрохимиявӣ намунаи аз хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо таркибҳои химиявӣ, ваз. %: Si - 0,5; Mg - 0,5, ҳосил карда шуда, дар маҳлули электролитии 3,0% NaCl омӯхта шуд. Намуна дар маҳлули электролитӣ таҳқиқотшаванда ғутонаида шуда, раванди поляризасия (қудбноқшавӣ) аз потенциали ибтидоӣ то қиматҳои максималии зичии ҷараёни намунаҳо омӯхташуд. Дар ин ҳолат, қимати потенциали зангзани озод ( $(E_{св.кор.})$ ) -и намунаҳо ҳисоб карда шуд. Натиҷаҳои ҷенкунҳо дар расми 4.1 (хатти 1) ҷамъбаст карда шудаанд. Пас аз ин, намуна ба самти муқобил поляризида карда шуд (расми 4.1, қачхатиҳои 2 ва 3), ки қимати потенциалӣ то қиматӣ -1,3 В расид, ки дар ин маврид пардаи оксидии рӯи намунаи хӯла ҳал мешавад. Сипас барои намунаҳои хӯлаҳо поляризасия гузаронида шуд, ки дар он потенциали питтингҳосилшавӣ ( $E_{п.о.}$ ) бо гузашти вақт аз минтақаи катодӣ ба анодӣ мегузарад (расми 4.1, қачхати 4) [98].

Ҳамин тариқ, хатҳои поляризиаро ҳосил карда, дар онҳо бузургҳои асосии потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳои омӯхташаванда, муайян карда шуданд:  $-E_{ст}$  ё  $-E_{озод.кор.}$  - потенциали стандартӣ ё потенциали озоди коррозия;  $-E_{рп}$  - потенциали репассивасия;  $-E_{п.о.}$  - потенциали питтингҳосилшавӣ;

$-E_{кор.}$  - потенциали коррозия ё зангзанӣ;  $-i_{кор.}$  - ҷараёни коррозия ё зангзанӣ.



**Расми 4.1** - Качхатиҳои поляризационии анодӣ ва катодӣ (2 мВ/с) ҳӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролитии 3%-и NaCl

Бузургиҳои чараёни зангзании ҳӯлаи таҳқиқшуда, бо назардошти хати качии катодӣ бо нишебии Тафелӣ ( $v_k$ ), ки қимати он 0,12-ро ташкил медиҳад, ҳисоб карда шуд, зеро барои алюминий ва ҳӯлаҳои дар асоси он дар муҳити нейтралӣ, зангзании питингӣ дар вобастаги аз ионизатсияи оксиген ва реаксияи катоди мегузарад. Суръати зангзании барои ҳӯлаҳо бо формулаи зерин ҳисоб карда мешавад:

$$K = i_{кор.} \cdot k$$

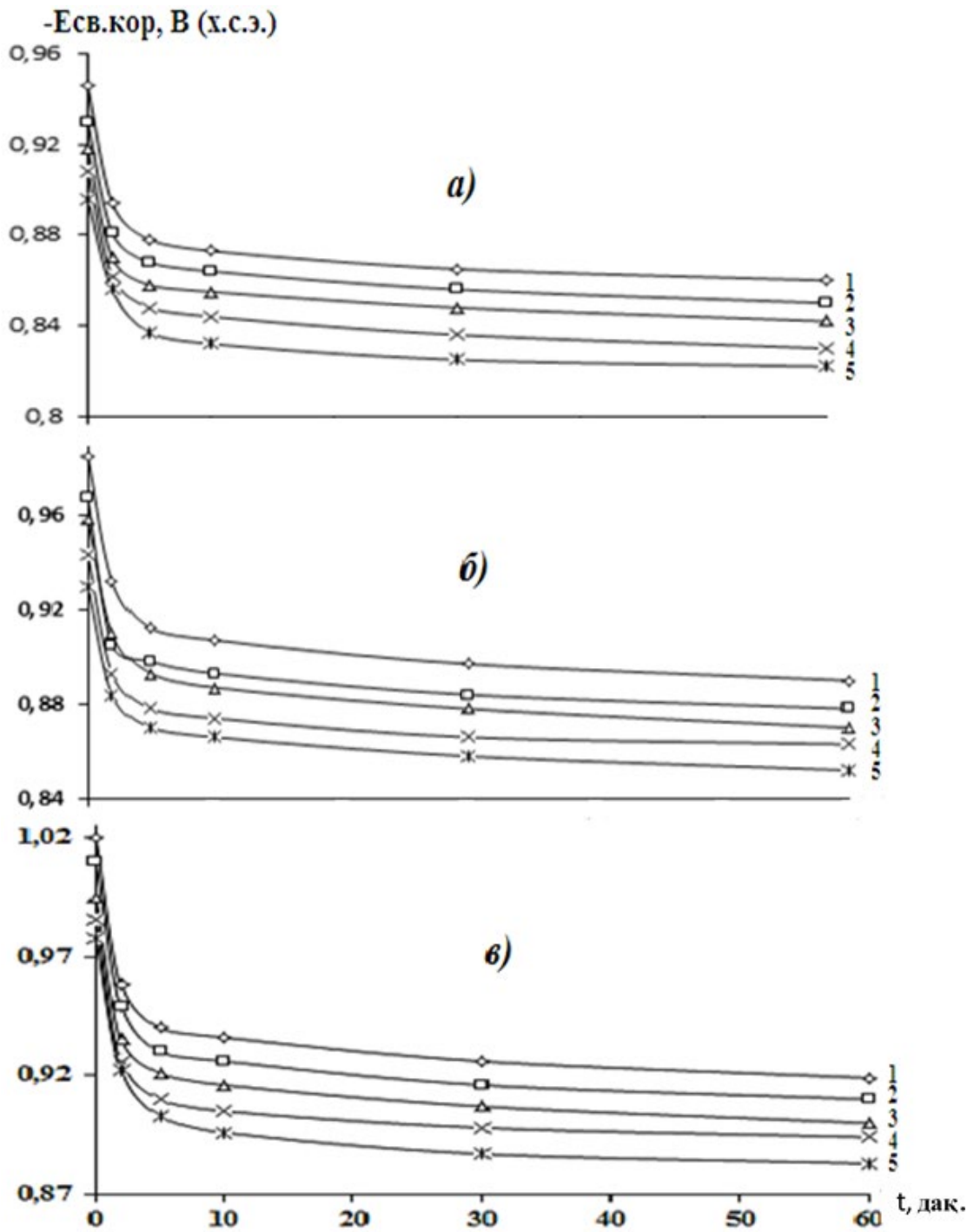
барои алюминий  $k$  ба 0,335г/А·с баробар аст. (Эквиваленти электрохимиявии алюминий).

Дар ҳисобҳои потенциалҳои электрохимиявии ҳӯлаҳо инчунин такроршавандагии онҳо ҳисоб карда шуданд, ки аз 1 мВ иборат аст. Инчунин зичии чараёни зангзанӣ ҳисоб карда шуд, ки аз  $0.001 \cdot 10^{-2}$  то  $0.005 \cdot 10^{-2}$  А/м<sup>2</sup> баробар аст. Усули муфассали сабти хатҳои поляризатсияи ҳӯлаҳо дар [5-А, 6-А, 7-А, 8-А] оварда шудааст.

#### 4.2. Таъсири иловаи калсий ба рафтори аноди хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролити NaCl [1-M]

Дар ин силсилаи таҷрибаҳо таҳқиқотҳои коррозияи-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий дар маҳлули электролити NaCl (ҷадвалҳои 4.1-4.4 ва расмҳои 4.2-4.5) дида баромада шуд. Дар расми 4.2 вобастагии графיקии потенциали зангзании озод ( $-E_{\text{озод. кор.}}$ , В) аз вақт барои намунаҳои аз хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, дар маҳлули электролити NaCl нишон дода шудааст. Тавре ки аз ҷадвалҳои 4.1-4.3 дида мешавад, қиматҳои потенциалҳои зангзании озод ( $-E_{\text{озод. кор.}}$ ) ҳангоми дар маҳлули электролитӣ ғутонидани хӯлаҳои таҳқиқшаванда ба минтақаи қиматҳои мусбат мелағжанд.

Дар ҷадвали 4.4 барои хӯлаҳои таҳқиқшаванда ҳисобҳои хусусиятҳои зангзании электрохимиявии онҳо оварда шудаанд. Дар асоси маълумотҳои ҷадвали 4.4 метавон гуфт, ки ҷавҳаронидани хӯлаи ноқили алюминийи аввалияи E-AlMgSi («алдрей») бо миқдорҳои гуногуни калсий (аз 0,01 то 0,5 ваз.% Са) дар маҳлули электролити NaCl бо консентратсияҳои гуногун потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳои таҳқиқшаванда (потенциали зангзанӣ, потенциали репассиватсия ва потенциали питингҳосилшавӣ) ба минтақаи бештар қиматҳои мусбат мелағжанд, дар ин маврид устувории хӯлаҳои омӯхташаванда ба зангзании питтингӣ зиёд мешавад.



**Расми 4.2** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди ( $-E_{\text{озо.кор}}, \text{В}$ ) хўлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), (1), дорои калсий, ваз. %: 0,01(2) ; 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5), дар маҳлули электролит 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3,0% (в) NaCl

**Ҷадвали 4.1 - Вобастагии вақт аз потенциали зангзании озоди (-E<sub>озо.кор</sub>,В) хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий, дар муҳити 0,03% NaCl**

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори калсий дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,946	0,930	0,918	0,908	0,896
0,15	0,937	0,921	0,910	0,899	0,890
0,2	0,930	0,914	0,903	0,891	0,886
0,3	0,922	0,905	0,895	0,885	0,880
0,4	0,914	0,897	0,887	0,879	0,875
0,5	0,907	0,891	0,880	0,873	0,869
0,6	0,900	0,886	0,875	0,867	0,862
2	0,894	0,881	0,870	0,862	0,856
3	0,888	0,876	0,866	0,857	0,849
4	0,883	0,872	0,862	0,852	0,843
5	0,878	0,868	0,858	0,848	0,837
10	0,873	0,864	0,855	0,844	0,832
20	0,869	0,859	0,851	0,840	0,828
30	0,865	0,856	0,848	0,836	0,825
40	0,862	0,853	0,845	0,833	0,822
50	0,860	0,851	0,842	0,831	0,822
60	0,860	0,850	0,842	0,830	0,822

**Ҷадвали 4.2 - Вобастагии вақт аз потенциали зангзании озоди (-E<sub>озо.кор</sub>, В) хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий, дар муҳити 0,3% NaCl**

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори калсий дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,985	0,967	0,958	0,943	0,930
0,15	0,976	0,954	0,948	0,933	0,922
0,2	0,968	0,945	0,942	0,925	0,915
0,3	0,961	0,936	0,936	0,918	0,907
0,4	0,954	0,927	0,930	0,911	0,901
0,5	0,946	0,920	0,923	0,904	0,895
0,6	0,938	0,912	0,916	0,898	0,889
2	0,932	0,905	0,910	0,893	0,884
3	0,925	0,909	0,905	0,888	0,879
4	0,918	0,903	0,899	0,883	0,874
5	0,912	0,898	0,893	0,878	0,870
10	0,907	0,893	0,887	0,874	0,866
20	0,902	0,888	0,883	0,870	0,862
30	0,897	0,884	0,878	0,866	0,858
40	0,893	0,880	0,874	0,865	0,855
50	0,891	0,878	0,871	0,864	0,853
60	0,890	0,878	0,870	0,863	0,852

Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий дар муҳити электролитии 0,03, 0,3 ва 3,0% NaCl дар расми 4.3. нишон дода шудааст. Илова кардани калсий ба хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») суръати зангзании онро дар



тамоми муҳитҳои омӯхташавандаи электролити NaCl паст мекунад (расми 4.3).

**Қадвали 4.3** - Вобастагии вақт аз потенциали зангзании озоди ( $-E_{\text{озод.кор}}$ , В) ҳулаи ноқилҳои алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий, дар муҳити 3,0%-и NaCl

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори калсий дар ҳула, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1,020	1,010	0,995	0,986	0,978
0,15	1,010	1,004	0,984	0,975	0,970
0,2	1,002	0,996	0,977	0,964	0,962
0,3	0,995	0,987	0,965	0,955	0,954
0,4	0,986	0,975	0,957	0,946	0,946
0,5	0,977	0,966	0,949	0,938	0,937
0,6	0,967	0,957	0,942	0,932	0,930
2	0,958	0,949	0,935	0,926	0,922
3	0,950	0,941	0,930	0,920	0,914
4	0,945	0,935	0,926	0,915	0,908
5	0,940	0,930	0,921	0,910	0,903
10	0,936	0,926	0,916	0,905	0,898
20	0,930	0,920	0,911	0,900	0,893
30	0,926	0,916	0,907	0,896	0,887
40	0,922	0,912	0,903	0,895	0,885
50	0,920	0,910	0,901	0,894	0,884
60	0,919	0,910	0,900	0,894	0,883

Аз ин лиҳоз, зиёдшавии консентратсияи электролити NaCl (хлорид- ион) ба баланд шудани суръати зангзании ҳулаи ибтидои мусоидат мекунад (расми 4.4). Суръати зангзанӣ ва зичии ҷараёни зангзании ҳулаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») дар консентратсияи 0,5 ваз.% калсий

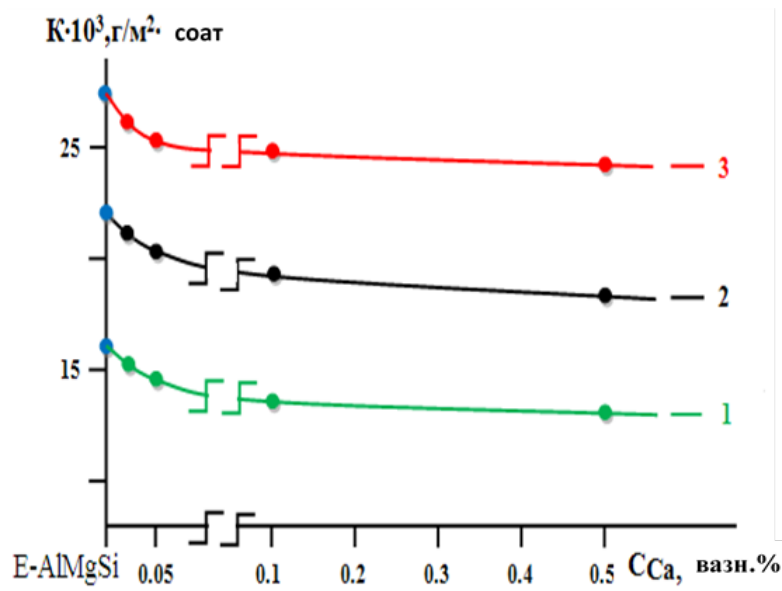
қимати минималӣ доранд. Аз ин рӯ, таркиби хӯлаҳои муайяншуда аз ҷиҳати зангзанӣ оптималӣ мебошанд.

**Ҷадвали 4.4 -** Характеристикаҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, дар муҳити электролити NaCl

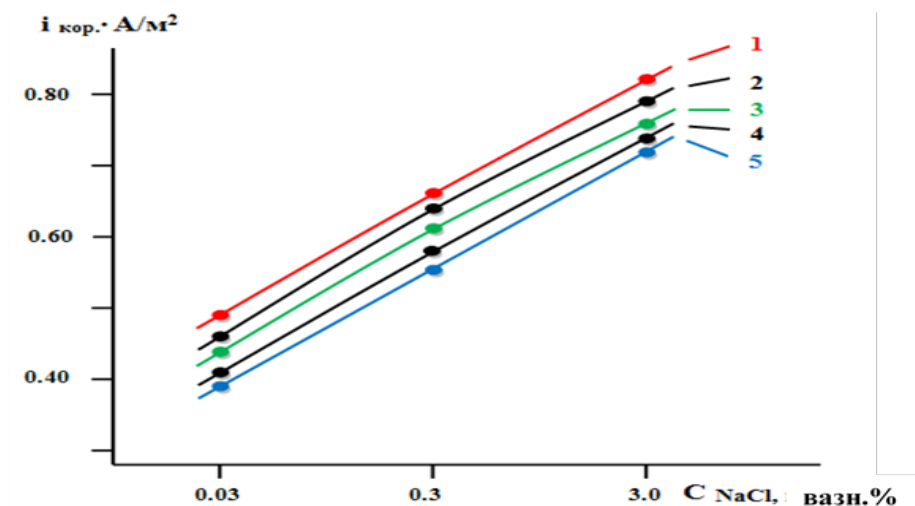
Муҳит NaCl, ваз.%	Миқдори калсий дар хӯла, ваз.%	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати зангзанӣ	
		-E <sub>оз.кор.</sub>	-E <sub>кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>рп.</sub>	i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·час
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,850	1,088	0,590	0,715	0,046	15,41
	0.05	0,842	1,072	0,578	0,715	0,044	14,74
	0.1	0,830	1,055	0,566	0,710	0,041	13,73
	0.5	0,822	1,040	0,552	0,707	0,039	13,06
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,878	1,169	0,664	0,760	0,064	21,44
	0.05	0,870	1,152	0,656	0,754	0,061	20,43
	0.1	0,863	1,137	0,647	0,750	0,058	19,43
	0.5	0,852	1,124	0,640	0,750	0,055	18,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,910	1,230	0,724	0,785	0,079	26,46
	0.05	0,900	1,228	0,718	0,780	0,076	25,46
	0.1	0,894	1,216	0,710	0,780	0,074	24,71
	0.5	0,883	1,205	0,700	0,770	0,072	24,12

Шоҳаҳои анодии хатҳои поляризатсияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий дар расми 4.5 нишон дода шудаанд. Тавре ки аз рафти қачхатиҳо дида мешавад, бо зиёд шудани миқдори

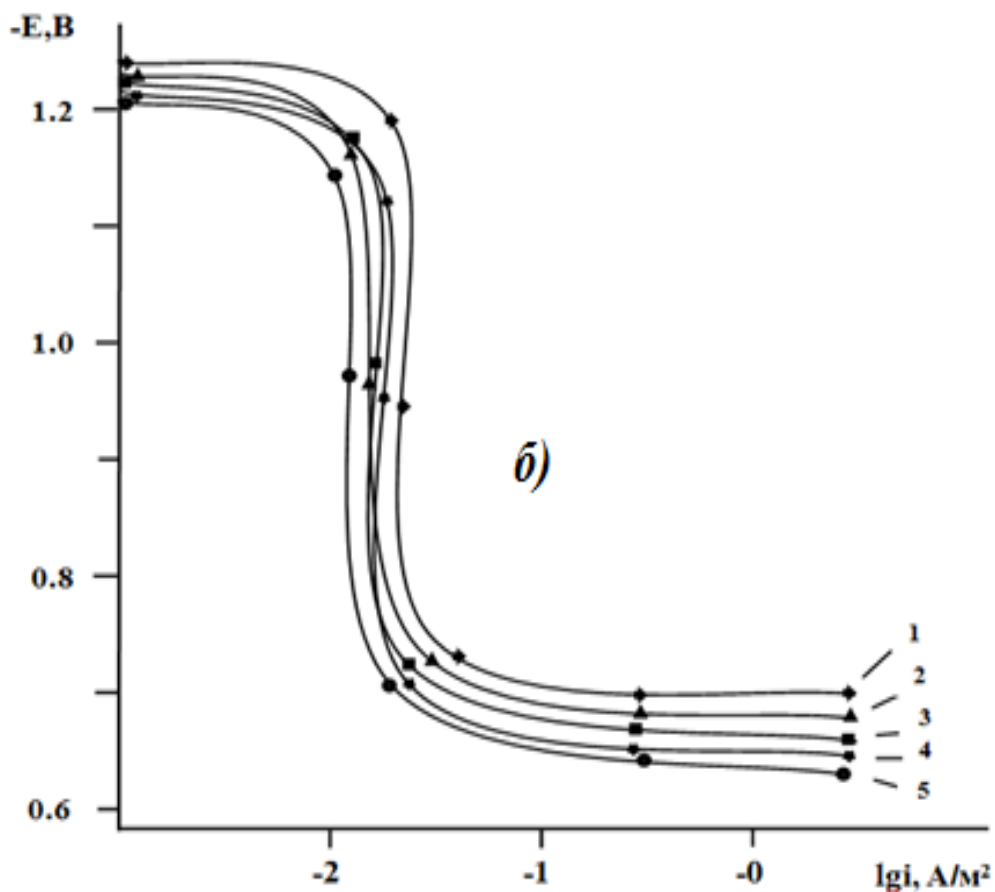
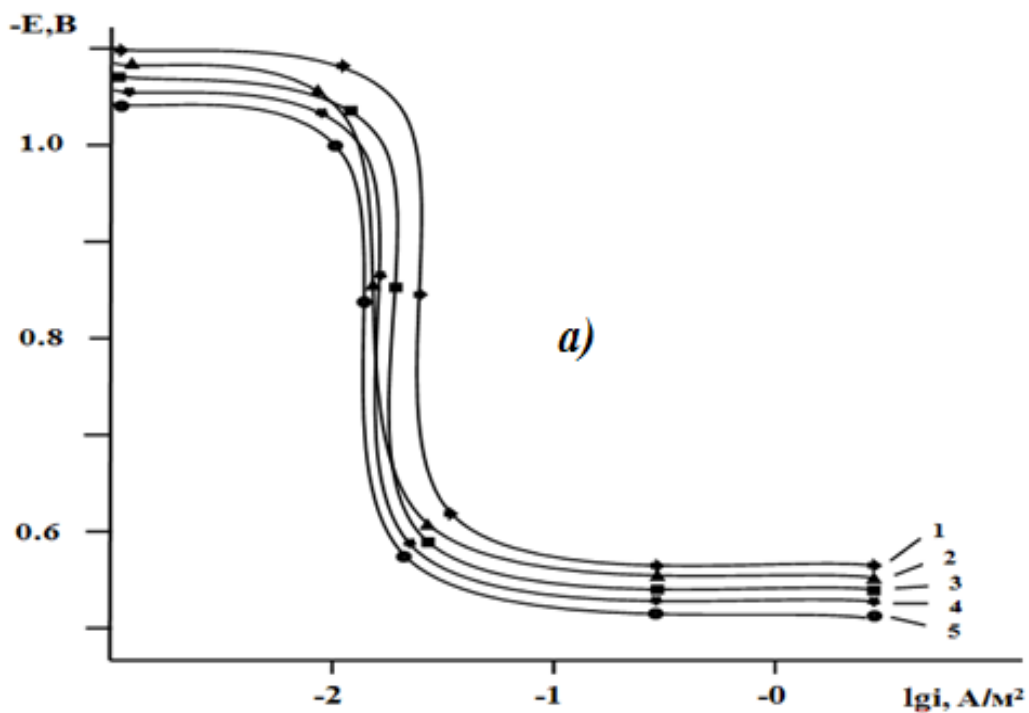
компоненти чавҳаронидашудаи - калсий, дар муҳити электролити  $\text{NaCl}$  гузариш ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаҳои қиматҳои мусбати мушоҳида мешавад, ки ин аз камшавии суръати ҳалшавии анодии ҳӯлаҳои чавҳаронида шаҳодат медиҳад.



**Расми 4.3** - Вобастагии суръати зангзании ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз консентратсияи калсий, дар муҳити электролити 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0%-и (3)  $\text{NaCl}$



**Расми 4.4** - Вобастагии зичии ҷараёни зангзании ҳӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои калсий, вазн.:%: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5) аз консентратсияи  $\text{NaCl}$



Расми 4.5 – Качхатҳои поляризацияи анодӣ (2мВ/с) ҳулаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои калсий, ваз.‰: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а) ва 3%-и (б) NaCl

#### 4.3. Рафтори анодии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо кадмий чавҳаронидашуда дар муҳити электролити NaCl [10-M]

Натиҷаҳои тадқиқотҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий дар муҳити электролити NaCl дар ҷадвал 5-4.8 ва дар расмҳои 4.6-4.9 оварда шудаанд. Дар ҷадвалҳои 4.7-4.9 ва расми 4.6 вобастагии потенциали зангзани озод ( $-E_{\text{озо.кор.}}$ , В) аз вақт барои намунаҳои аз хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий, дар муҳити электролити NaCl нишон дода шудааст. Дидамешавад, ки ҳангоми ғутонидани намунаҳои аз хӯлаҳо дар электролити NaCl потенциали ( $-E_{\text{озо.кор.}}$ , В) ба минтақаи мусбати қиматҳо мелағжад (ҷадвалҳои 4.5-4.7).

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои хосиятҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаҳо, ки дар ҷадвали 4.8 пешниҳод шудаанд, нишон медиҳанд, ки илова кардани кадмий аз 0,01 то 0,5 ваз.% ба хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») дар муҳитҳои таҳқиқотшаванда, потенциали зангзанӣ, репассиватсия ва питтингҳосилшавӣ ба минтақаи қиматҳои мусбат лағжида, ҳамзамон муқовимати хӯлаҳоро ба зангзани питтингӣ зиёд мекунад.

Вобастагии суръати зангзани хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори кадмий дар муҳити электролитҳои 0,03; 0,3 ва 3,0%-и NaCl нишон медиҳад, ки кадмий дар хӯлаи AlMgSi («алдрей») суръати зангзани онро дар тамоми муҳитҳои таҳқиқотшавандаи электролити NaCl кам мекунад (расми 4.7). Бинобар ин зиёдшавии концентратсияи электролити NaCl (хлорид-ион) ба баланд шудани суръати зангзани хӯлаҳо мусоидат мекунад (расми 4.8). Суръати зангзанӣ ва зичии ҷараёни зангзани хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») ҳангоми концентратсияи 0,5 ваз.% кадмий дорой қимати минималӣ мебошанд. Пас таркиби хӯлаҳои нишондодашуда аз ҷиҳати зангзанӣ оптималӣ мебошанд.

**Ҷадвали 4.5** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (-Е<sub>озо..кор</sub>, В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори кадмий, дар муҳити электролити 0,03% -и NaCl

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори кадмий дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,946	0,923	0,911	0,904	0,897
0,15	0,937	0,914	0,900	0,897	0,888
0,2	0,930	0,907	0,893	0,889	0,880
0,3	0,922	0,899	0,886	0,881	0,873
0,4	0,914	0,892	0,880	0,874	0,866
0,5	0,907	0,886	0,874	0,867	0,859
0,6	0,900	0,880	0,868	0,861	0,853
2	0,894	0,874	0,863	0,855	0,847
3	0,888	0,868	0,858	0,849	0,841
4	0,883	0,863	0,853	0,844	0,836
5	0,878	0,858	0,849	0,839	0,831
10	0,873	0,853	0,845	0,835	0,827
20	0,869	0,849	0,841	0,831	0,823
30	0,865	0,845	0,838	0,828	0,819
40	0,862	0,842	0,835	0,825	0,817
50	0,860	0,840	0,833	0,823	0,816
60	0,860	0,840	0,832	0,823	0,815

Шохаҳои анодии хатҳои поляризатсияи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо илваҳои кадмий дар расми 4.9 нишон дода шудаанд. Тавре ки аз рафти қачхатиҳо дида мешавад, бо зиёд шудани миқдори компоненти ҷавҳаронидашудаи кадмий, дар муҳити

электролитии NaCl лағжиши ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаҳои қиматҳои мусбат мушоҳида мешавад, ки ин аз камшавии суръати ҳалшавии анодии хӯлаҳои ҷавҳарондашуда бо кадмий шаҳодат медиҳад.

**Ҷадвали 4.6** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (-E<sub>озо..кор</sub>, В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори кадмий, дар муҳити электролити 0,3% -и NaCl

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори кадмий дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,985	0,956	0,942	0,936	0,928
0,15	0,976	0,943	0,930	0,925	0,920
0,2	0,968	0,933	0,922	0,917	0,913
0,3	0,961	0,924	0,915	0,911	0,906
0,4	0,954	0,916	0,908	0,905	0,898
0,5	0,946	0,909	0,902	0,899	0,890
0,6	0,938	0,903	0,896	0,892	0,878
2	0,932	0,897	0,890	0,886	0,872
3	0,925	0,892	0,885	0,880	0,867
4	0,918	0,887	0,880	0,875	0,863
5	0,912	0,883	0,876	0,870	0,859
10	0,907	0,879	0,872	0,866	0,855
20	0,902	0,876	0,868	0,862	0,852
30	0,897	0,873	0,865	0,859	0,849
40	0,893	0,870	0,862	0,856	0,846
50	0,891	0,868	0,860	0,854	0,844
60	0,890	0,868	0,860	0,853	0,844

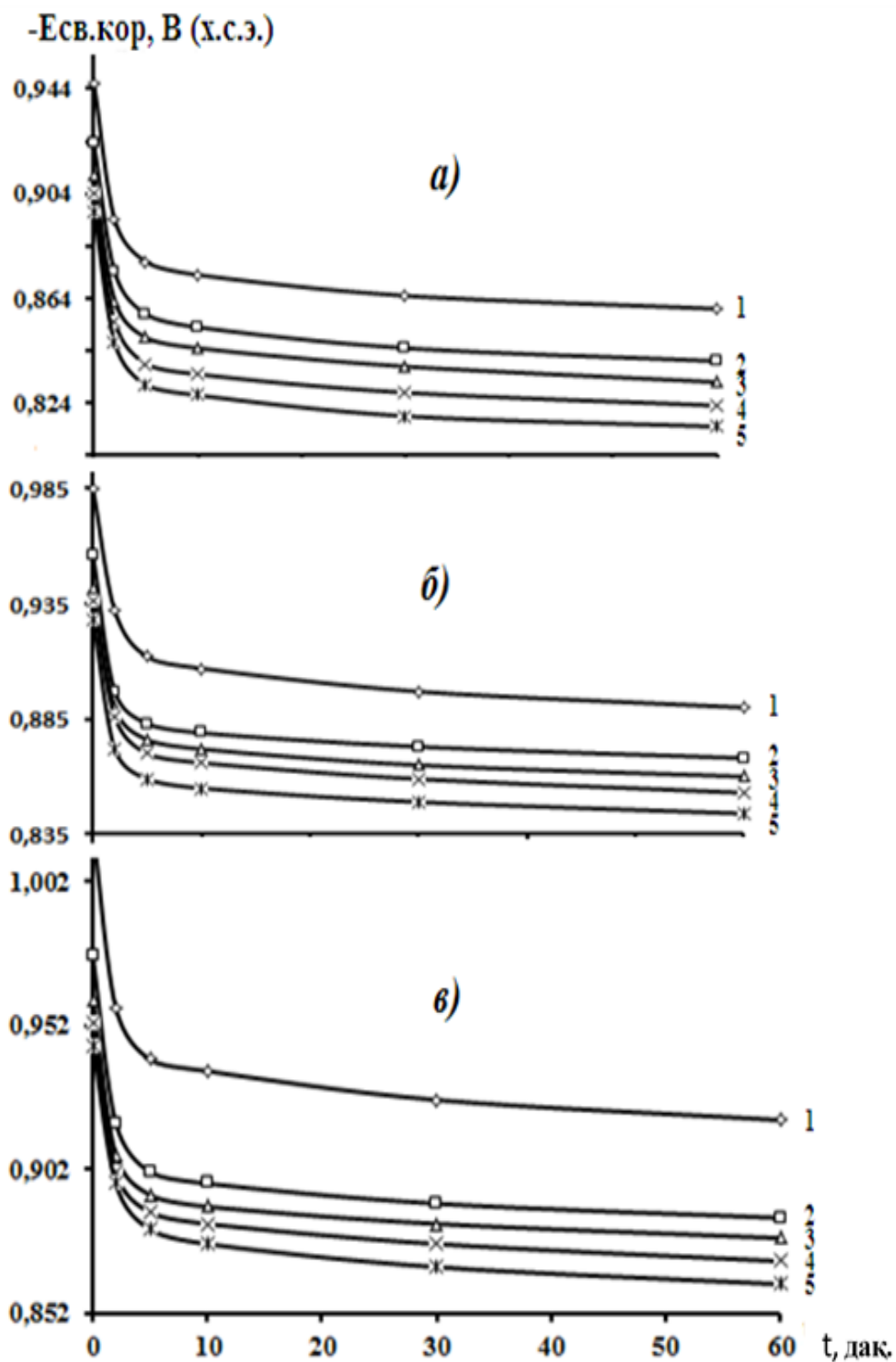
**Ҷадвали 4.7 - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (-E<sub>озод.кор</sub>, В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори кадмий, дар муҳити электролити 3.0%-и NaCl**

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори кадмий дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1,020	0,976	0,961	0,953	0,945
0,15	1,010	0,964	0,949	0,943	0,936
0,2	1,002	0,954	0,940	0,935	0,926
0,3	0,995	0,946	0,933	0,927	0,920
0,4	0,986	0,939	0,926	0,918	0,913
0,5	0,977	0,932	0,919	0,912	0,908
0,6	0,967	0,925	0,913	0,906	0,902
2	0,958	0,918	0,907	0,901	0,897
3	0,950	0,912	0,902	0,896	0,891
4	0,945	0,906	0,897	0,891	0,886
5	0,940	0,901	0,893	0,887	0,881
10	0,936	0,897	0,889	0,883	0,876
20	0,930	0,893	0,886	0,879	0,872
30	0,926	0,890	0,883	0,876	0,868
40	0,922	0,887	0,880	0,873	0,865
50	0,920	0,885	0,878	0,871	0,862
60	0,919	0,885	0,878	0,870	0,862

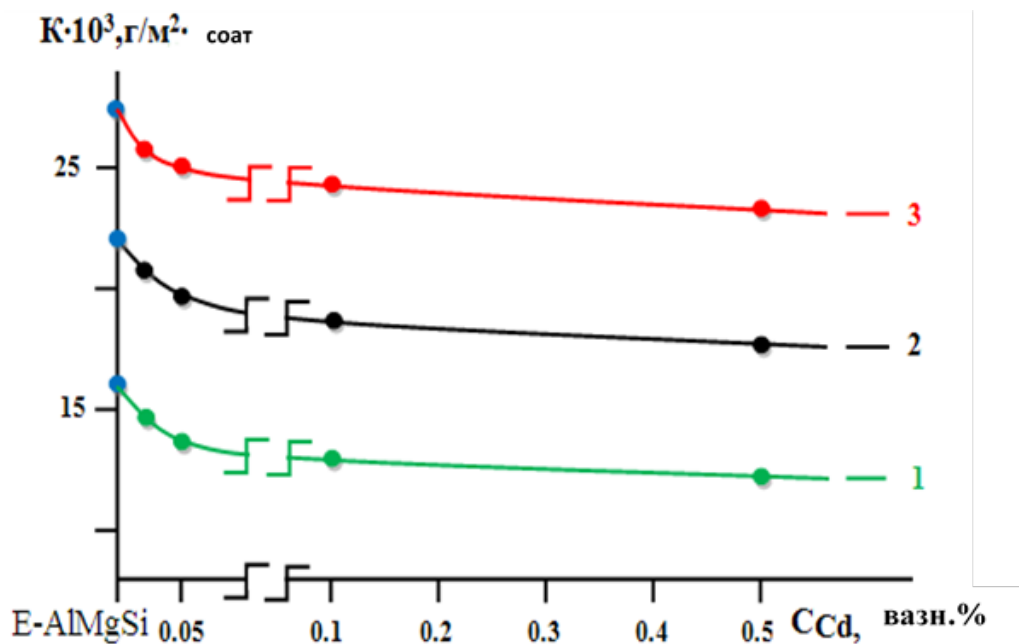


**Ҷадвали 4.8 - Харақтаристикаҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи  
ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо кадмий, дар муҳити  
электролити NaCl**

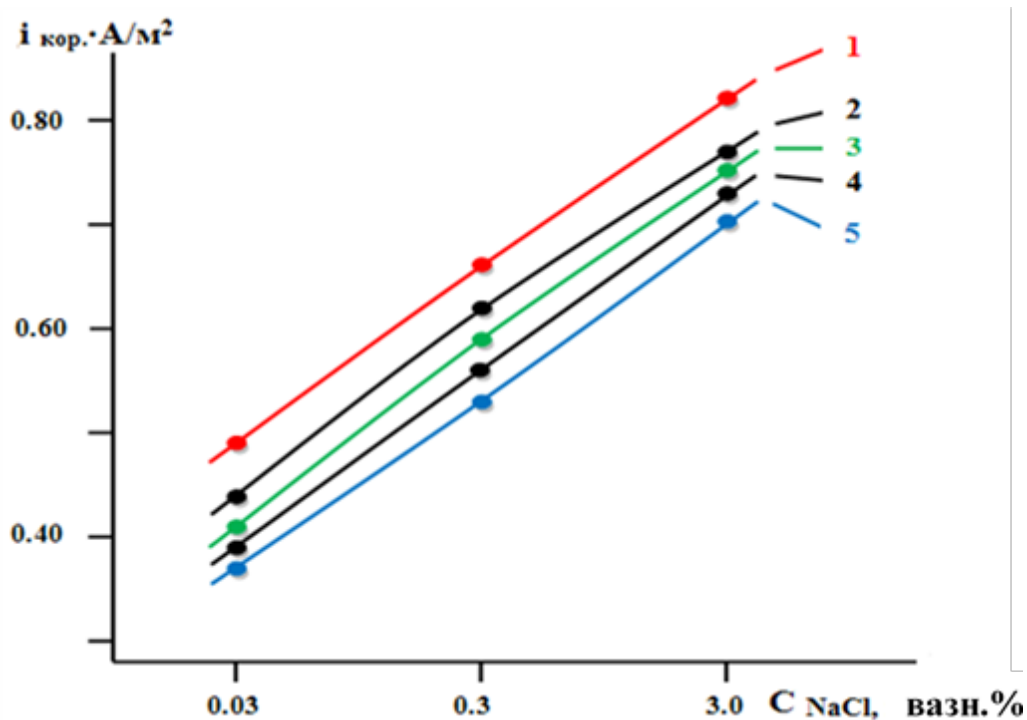
Муҳит NaCl, ваз.%	Миқдори кадмий дар хӯла, ваз.%	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати зангзанӣ	
		- E <sub>озо.кор.</sub>	-E <sub>кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>рп.</sub>	i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·час
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,840	1,078	0,584	0,708	0,044	14,74
	0.05	0,832	1,065	0,572	0,700	0,041	13,73
	0.1	0,823	1,049	0,560	0,695	0,039	13,06
	0.5	0,815	1,036	0,547	0,695	0,037	12,40
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,868	1,160	0,658	0,752	0,062	20,77
	0.05	0,860	1,146	0,646	0,747	0,059	19,76
	0.1	0,853	1,130	0,638	0,747	0,056	18,76
	0.5	0,844	1,117	0,630	0,740	0,053	17,75
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,885	1,220	0,716	0,776	0,077	25,79
	0.05	0,878	1,213	0,708	0,776	0,075	25,12
	0.1	0,870	1,200	0,700	0,770	0,073	24,45
	0.5	0,862	1,192	0,692	0,764	0,070	23,45



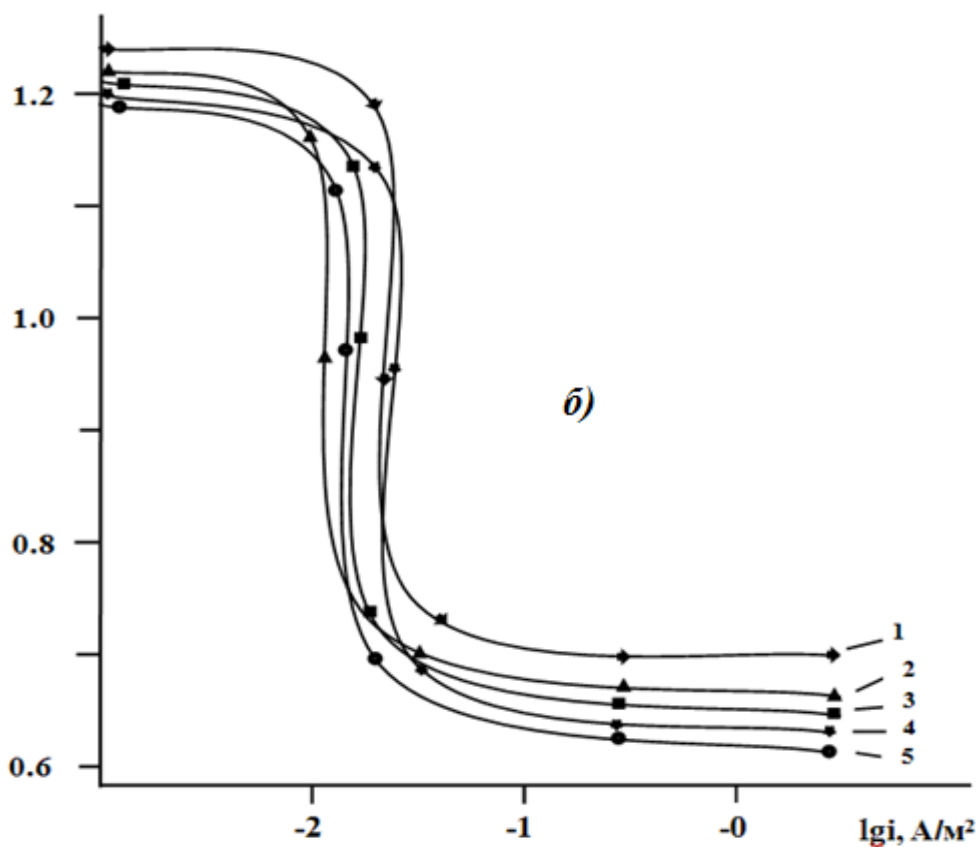
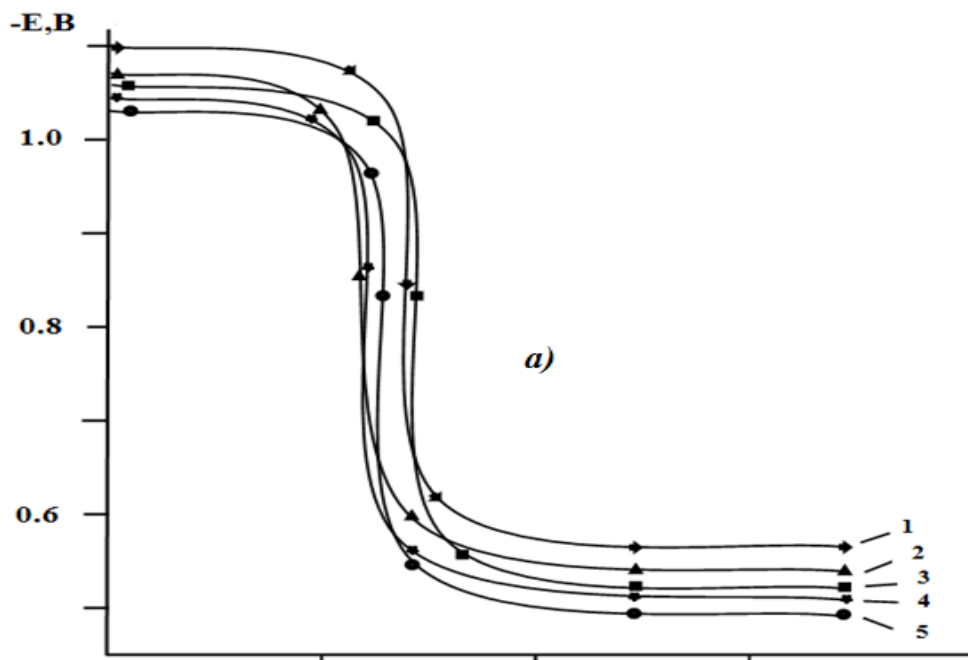
Расми 4.6 – Вобастагии вақт аз потенциали зангзании озоди ( $-E_{\text{озо.кор.}}$ , В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои кадмий, ваз.‰: 0,019(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3%-и (в) NaCl



Расми 4.7 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз консентратсияи кадмий, дар муҳити электролитҳои 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0%-и (3) NaCl



Расми 4.8 - Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои кадмий, вазн.:%: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), аз консентратсияи NaCl



**Расми 4.9** – Қаҷхатҳои поляризацияи анодӣ (2мВ/с) ҳулаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои кадмий, ваз.‰: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а) ва 3% -и (б) NaCl

#### 4.4. Таъсири иловаи сурма ба рафтори анодӣ хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), дар муҳити электролити NaCl [11-A]

Натиҷаҳои тадқиқотҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма дар муҳити электролити NaCl дар ҷадвали 4.9-4.12 ва дар расмҳои 4.10-4.13 оварда шудаанд.

**Ҷадвали 4.9** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзани озоди ( $E_{\text{озод.кор}}$ , В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори сурма, дар муҳити электролити 0,03% -и NaCl

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори сурма дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,946	0,912	0,905	0,904	0,895
0,15	0,937	0,900	0,895	0,897	0,883
0,2	0,930	0,893	0,887	0,889	0,874
0,3	0,922	0,886	0,880	0,881	0,867
0,4	0,914	0,879	0,873	0,874	0,859
0,5	0,907	0,872	0,866	0,867	0,852
0,6	0,900	0,865	0,860	0,861	0,845
2	0,894	0,859	0,854	0,842	0,838
3	0,888	0,854	0,848	0,837	0,832
4	0,883	0,849	0,843	0,833	0,826
5	0,878	0,845	0,838	0,829	0,822
10	0,873	0,843	0,834	0,826	0,818
20	0,869	0,839	0,830	0,823	0,815
30	0,865	0,836	0,827	0,820	0,812
40	0,862	0,833	0,824	0,818	0,810
50	0,860	0,831	0,822	0,816	0,808
60	0,860	0,830	0,822	0,815	0,808

**Чадвали 4.10 - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (-  
E<sub>озод.кор</sub>, В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори  
сурма, дар муҳити электролити 0,3% -и NaCl**

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори сурма дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	0,985	0,946	0,935	0,926	0,917
0,15	0,976	0,935	0,923	0,914	0,909
0,2	0,968	0,927	0,915	0,905	0,900
0,3	0,961	0,919	0,907	0,897	0,892
0,4	0,954	0,912	0,900	0,889	0,884
0,5	0,946	0,905	0,893	0,882	0,877
0,6	0,938	0,898	0,886	0,876	0,871
2	0,932	0,891	0,880	0,870	0,865
3	0,925	0,885	0,874	0,865	0,860
4	0,918	0,879	0,869	0,860	0,855
5	0,912	0,874	0,865	0,856	0,850
10	0,907	0,869	0,861	0,852	0,846
20	0,902	0,865	0,857	0,848	0,842
30	0,897	0,862	0,854	0,845	0,839
40	0,893	0,859	0,851	0,842	0,836
50	0,891	0,857	0,849	0,840	0,834
60	0,890	0,857	0,848	0,840	0,833

Натиҷаҳои таҳқиқотҳои хосиятҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаҳо, ки дар чадвали 4.12 пешниҳод шуда, нишон медиҳанд, ки илова кардани сурма аз 0,01 то 0,5 ваз.% ба хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») дар муҳитҳои тадқиқотшаванда, потенциали зангзанӣ, репассиватсия ва пиннингҳосилшавӣ ба минтақаи қиматҳои мусбат

лағжида, ҳамзамон устувори хӯлаҳоро ба зангзании питтингӣ зиёд мекунад.

**Чадвали 4.11** - Вобастагии вақт аз потенциали (х.с.э.) зангзании озоди (- $E_{\text{озод.кор}}$ , В) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори сурма, дар муҳити электролити 3.0% -и NaCl

Вақти нигоҳдорӣ, дақиқа	Миқдори сурма дар хӯла, ваз. %				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
0	1,020	0,966	0,952	0,944	0,935
0,15	1,010	0,955	0,941	0,932	0,923
0,2	1,002	0,947	0,930	0,921	0,911
0,3	0,995	0,939	0,921	0,910	0,902
0,4	0,986	0,932	0,912	0,900	0,894
0,5	0,977	0,925	0,904	0,894	0,887
0,6	0,967	0,917	0,898	0,888	0,882
2	0,958	0,911	0,893	0,883	0,876
3	0,950	0,905	0,888	0,878	0,870
4	0,945	0,899	0,884	0,874	0,865
5	0,940	0,893	0,880	0,870	0,861
10	0,936	0,888	0,876	0,866	0,857
20	0,930	0,883	0,873	0,863	0,853
30	0,926	0,879	0,870	0,860	0,850
40	0,922	0,875	0,867	0,858	0,847
50	0,920	0,872	0,865	0,856	0,845
60	0,919	0,872	0,864	0,856	0,844

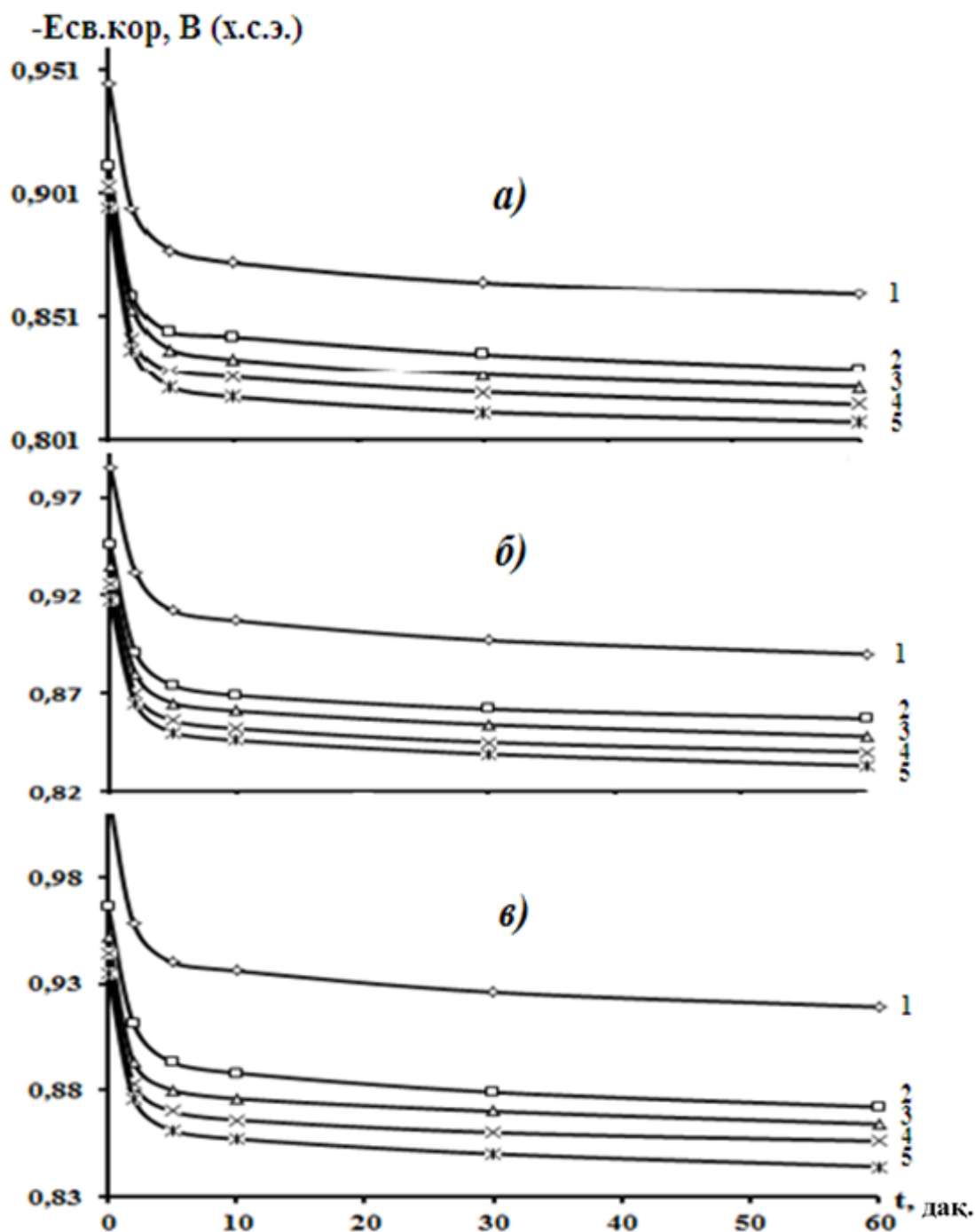
Вобастагии суръати зангзании хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори сурма дар муҳити электролитҳои 0,03; 0,3 ва 3,0%-и NaCl нишон медиҳад, ки иловаи сурма дар хӯлаи AlMgSi («алдрей») суръати зангзании онро дар тамоми муҳитҳои таҳқиқотшавандаи

электролити NaCl паст мекунад (расми 4.7). Бинобар ин зиёдшавии концентратсияи электролити NaCl (хлорид-ион) ба баланд шудани суръати зангзании хӯлаҳо мусоидат мекунад (расми 4.8). Суръати зангзанӣ ва зичии чараёни зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») ҳангоми концентратсияи 0,5 ваз.% сурма дорoi қимати минималӣ мебошанд. Пас таркиби хӯлаҳои нишондодашуда аз ҷиҳати зангзанӣ оптималӣ мебошанд.

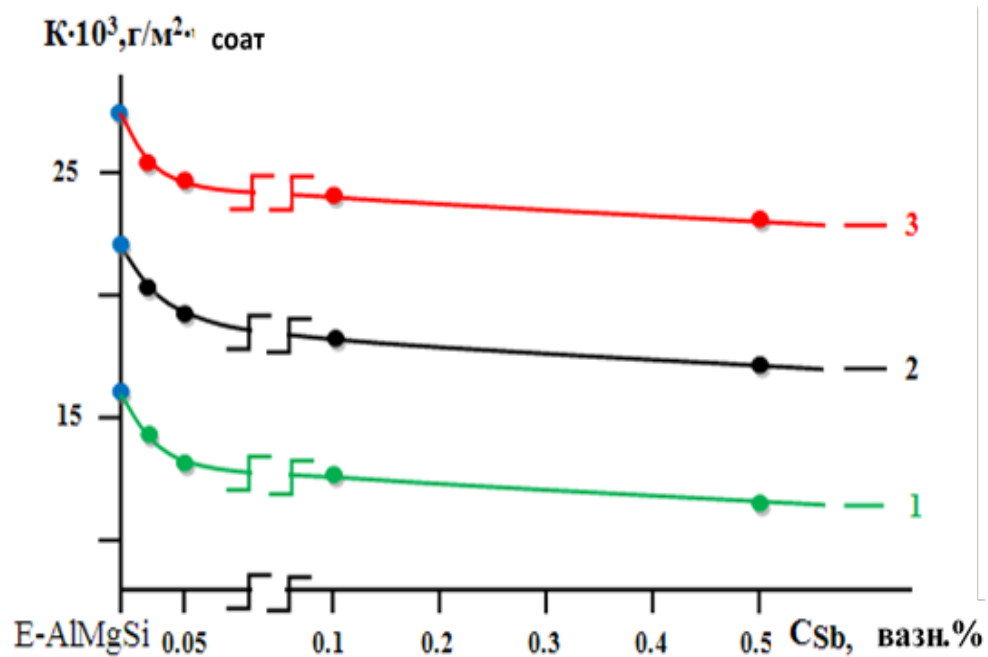
**Ҷадвали 4.12** - Характеристикаҳои зангзани-электрохимиявии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма, дар муҳити электролити NaCl

Муҳит NaCl, ваз.%	Миқдори сурма дар хӯла, ваз.%	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (х.с.э.)				Суръати зангзанӣ	
		- E <sub>озо.кор.</sub>	-E <sub>кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>рп.</sub>	i <sub>кор.</sub> · 10 <sup>2</sup> , А/м <sup>2</sup>	K · 10 <sup>3</sup> , г/м <sup>2</sup> ·соат
0.03	-	0,860	1,100	0,600	0,720	0,049	16,41
	0.01	0,872	1,210	0,709	0,768	0,043	14,40
	0.05	0,864	1,201	0,698	0,760	0,040	13,40
	0.1	0,856	1,190	0,686	0,757	0,038	12,73
	0.5	0,844	1,178	0,677	0,750	0,035	11,72
0.3	-	0,890	1,180	0,680	0,768	0,066	22,11
	0.01	0,857	1,152	0,650	0,746	0,061	20,43
	0.05	0,848	1,136	0,635	0,740	0,058	19,43
	0.1	0,840	1,122	0,626	0,740	0,055	18,42
	0.5	0,833	1,114	0,616	0,734	0,052	17,42
3.0	-	0,919	1,240	0,735	0,800	0,082	27,47
	0.01	0,872	1,210	0,709	0,768	0,076	25,46
	0.05	0,864	1,201	0,698	0,760	0,074	24,79
	0.1	0,856	1,190	0,686	0,757	0,072	24,12
	0.5	0,844	1,178	0,677	0,750	0,069	23,11

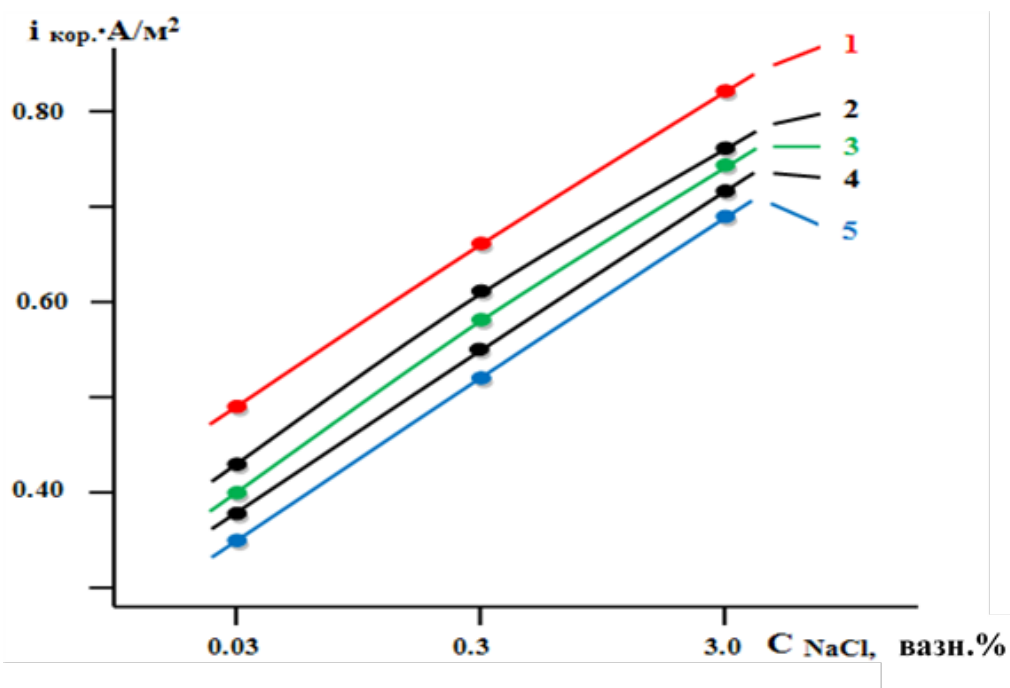




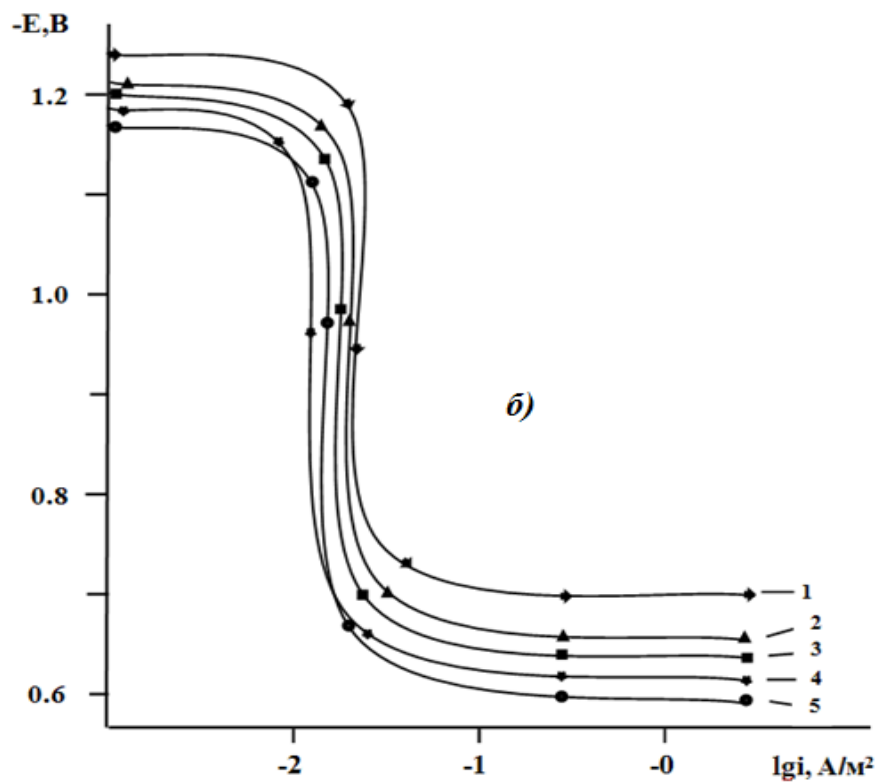
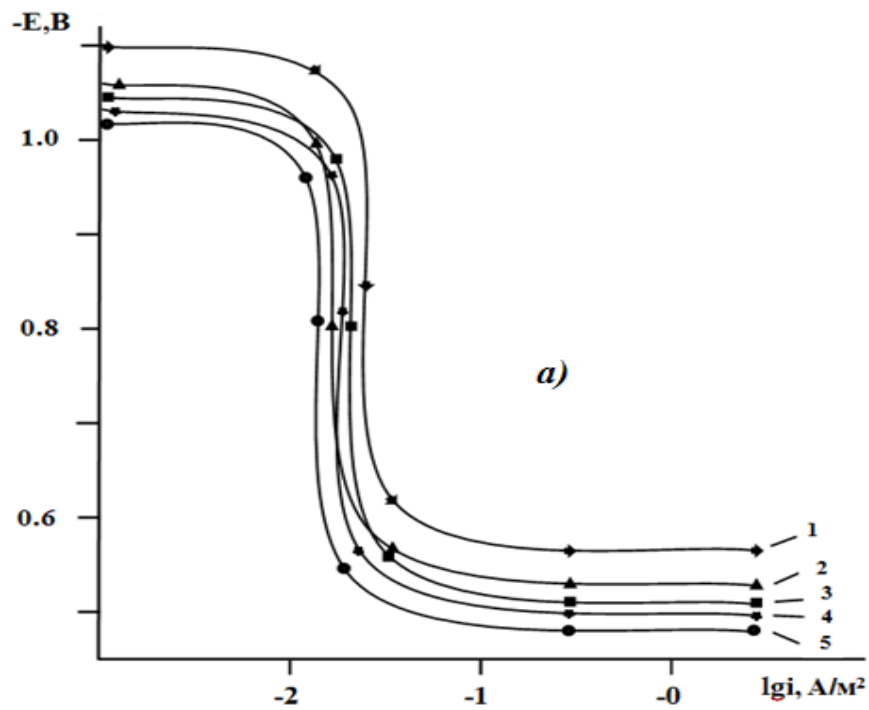
Расми 4.10 – Вобастагии вақт аз потенциали зангзании озоди ( $-E_{озо.кор}$ , В) хўлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои сурма, ваз. %: 0,019(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5(5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а); 0,3% (б) ва 3%-и (в) NaCl



Расми 4.11 - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз концентратсияи сурма, дар муҳити электролитҳои 0,03% (1); 0,3% (2) ва 3,0%-и (3) NaCl



Расми 4.12 - Вобастагии зичии ҷараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои сурма, вазн. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), аз концентратсияи NaCl



**Расми 4.13** – Качхатиҳои поляризатсияи анодии (2мВ/с) хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), дорои сурма, ваз. %: 0,01(2); 0,05(3); 0,1(4); 0,5 (5), дар муҳити электролитҳои 0,03% (а) ва 3%-и (б) NaCl

Шохаҳои анодии қачхатиҳои поляризатории хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо илваҳои сурма дар расми 4.13 нишон дода шудаанд. Тавре ки аз рафти қачхатиҳо дида мешавад, бо зиёд шудани миқдори компоненти ҷавҳаронидашудаи сурма, дар муҳити электролити NaCl лағжиши ҳамаи потенциалҳои электрохимиявӣ ба минтақаҳои қиматҳои мусбат мушоҳида мешавад, ки ин аз камшавии суръати ҳалшавии анодии хӯлаҳои ҷавҳарондашуда бо сурма шаҳодат медиҳад.

#### 4.5. Хулоса оид ба боби 4

Дар ҷадвалҳои 4.13 ва 4.14 натиҷаҳои тадқиқотҳои рафтори анодии хӯлаҳои ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда ҷамъбаст карда шудаанд. Потенсиали зангзании хӯлаи E-AlMgSi («алдрей») бо металлҳои нишондодашуда, бо зиёдшавии консентратсияҳои кампанентҳои ҷавҳаронидашаванда ба самти мусбати меҳвари ординат лағжиш мекунад. Ҳангоми аз электролити заиф ба электролитҳои қавӣ гузаштан, новобаста аз миқдори кампаненти ҷавҳаронидашуда, камшавии бузургии потенсиали зангзании озод мушоҳида мешавад. Ҳамин тариқ, бо зиёд шудани консентратсияи хлорид-ион, потенсиали зангзании озоди хӯлаи ибтидоии E-AlMgSi («алдрей») аз -0,860 В, дар муҳити 0,03%-и NaCl то -0,919 В, дар муҳити 3%-и NaCl кам мешавад (ҷадвали 4.13). Зиёдшавии консентратсияи компоненти ҷавҳаронида, ба зиёд шудани потенциалҳои пинтингҳосилшавӣ ва репассиватсия дар тамоми муҳитҳо, новобаста аз консентратсияи хлорид-ион мусоидат мекунад. Вобастагии муқарраршуда барои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ки бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашудааст, хос мебошад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан, потенсиали зангзании озод ва пинтингҳосилшавӣ зиёд мешаванд.

**Ҷадвали 4.13** - Потенциалҳои (х.с.э.) зангзании озод ( $-E_{\text{озо.корр.}}$ , В) ва питтингҳосилшавӣ ( $-E_{\text{п.о.}}$ , В) ҳулаи ноқили алюминийи  $\text{E-AlMgSi}$  («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда дар муҳити электролити  $\text{NaCl}$

Муҳит $\text{NaCl}$ , ваз. %	Миқдори Ca, Cd и Sb дар ҳула, ваз. %	Ҳула бо калсий		Ҳула бо кадмий		Ҳула бо сурма	
		- $E_{\text{озо.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	- $E_{\text{озо.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	- $E_{\text{озо.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
0.03	-	0,860	0,600	0,860	0,600	0,860	0,600
	0.01	0,850	0,590	0,840	0,584	0,830	0,576
	0.05	0,842	0,578	0,832	0,572	0,822	0,564
	0.1	0,830	0,566	0,823	0,560	0,815	0,552
	0.5	0,822	0,557	0,815	0,547	0,808	0,540
0.3	-	0,890	0,680	0,890	0,680	0,890	0,680
	0.01	0,878	0,664	0,868	0,658	0,857	0,650
	0.05	0,870	0,656	0,860	0,646	0,848	0,635
	0.1	0,863	0,647	0,853	0,638	0,840	0,626
	0.5	0,852	0,640	0,844	0,630	0,833	0,616
3.0	-	0,919	0,735	0,919	0,735	0,919	0,735
	0.01	0,910	0,724	0,885	0,716	0,872	0,709
	0.05	0,900	0,718	0,878	0,708	0,864	0,698
	0.1	0,894	0,710	0,870	0,700	0,856	0,686
	0.5	0,883	0,700	0,862	0,692	0,844	0,677

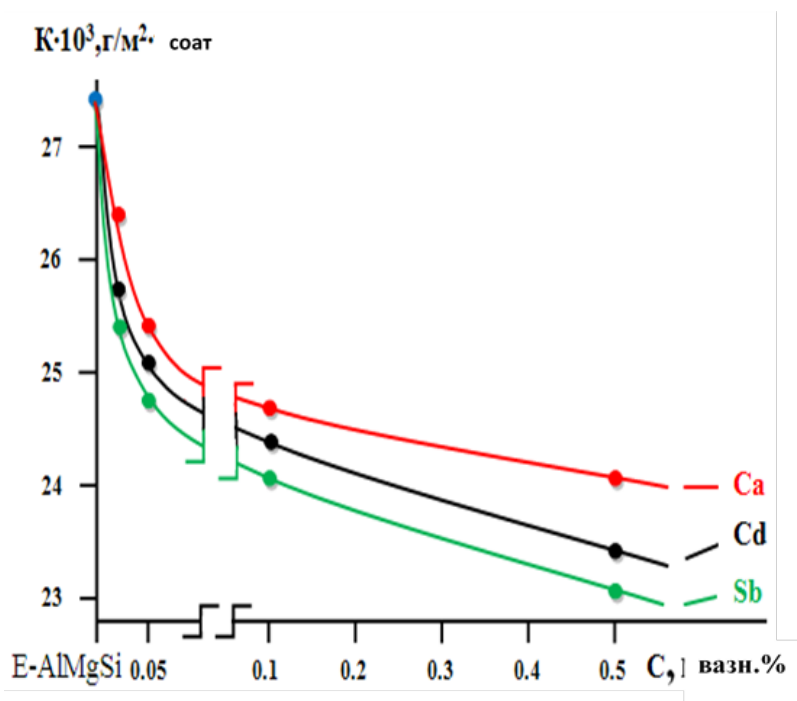
**Ҷадвали 4.14 - Вобастагии зичии ҷараёни зангзанӣ ва суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминии E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролити NaCl**

Муҳит NaCl, ваз.%	Миқдори Ca, Cd и Sb дар хӯла, ваз.%	Суръати зангзанӣ					
		Хӯла бо калсий		Хӯла бо кадмий		Хӯла бо сурма	
		$i_{корр.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·с	$i_{корр.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·с	$i_{корр.} \cdot 10^2$ , А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ , г/м <sup>2</sup> ·с
0.03	-	0,049	16,41	0,049	16,41	0,049	16,41
	0.01	0,046	15,41	0,044	14,74	0,043	14,40
	0.05	0,044	14,74	0,041	13,73	0,040	13,40
	0.1	0,041	13,73	0,039	13,06	0,038	12,73
	0.5	0,039	13,06	0,037	12,40	0,035	11,72
0.3	-	0,066	22,11	0,066	22,11	0,066	22,11
	0.01	0,064	21,44	0,062	20,77	0,061	20,43
	0.05	0,061	20,43	0,059	19,76	0,058	19,43
	0.1	0,058	19,43	0,056	18,76	0,055	18,42
	0.5	0,055	18,42	0,053	17,75	0,052	17,42
3.0	-	0,082	27,47	0,082	27,47	0,082	27,47
	0.01	0,079	26,46	0,077	25,79	0,076	25,46
	0.05	0,076	25,46	0,075	25,12	0,074	24,79
	0.1	0,074	24,71	0,073	24,45	0,072	24,12
	0.5	0,072	24,12	0,070	23,45	0,069	23,11

Бо зиёд шудани консентратсияи ионҳои хлорид, зичии ҷараёни зангзанӣ зиёд мешавад ва мутаносибан суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма

чавҳаронидашуда, меафзойд. Ин вобастагӣ барои хама хӯлаҳо, новобаста аз таркиб ва хусусиятҳои хосиятҳои физико-химиявии компонентҳои чавҳаронида хос мебошад. Пастшавии суръати зангзанӣ хангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан мушоҳида мешавад. Инчунин барои хӯлаи ноқили алюминий E-AlMgSi («алдрей») зиёдшавии суръати зангзанӣ бо зиёд шудани консентратсияи ионҳои хлорид дар электролити NaCl хос аст (ҷадвали 4.14).

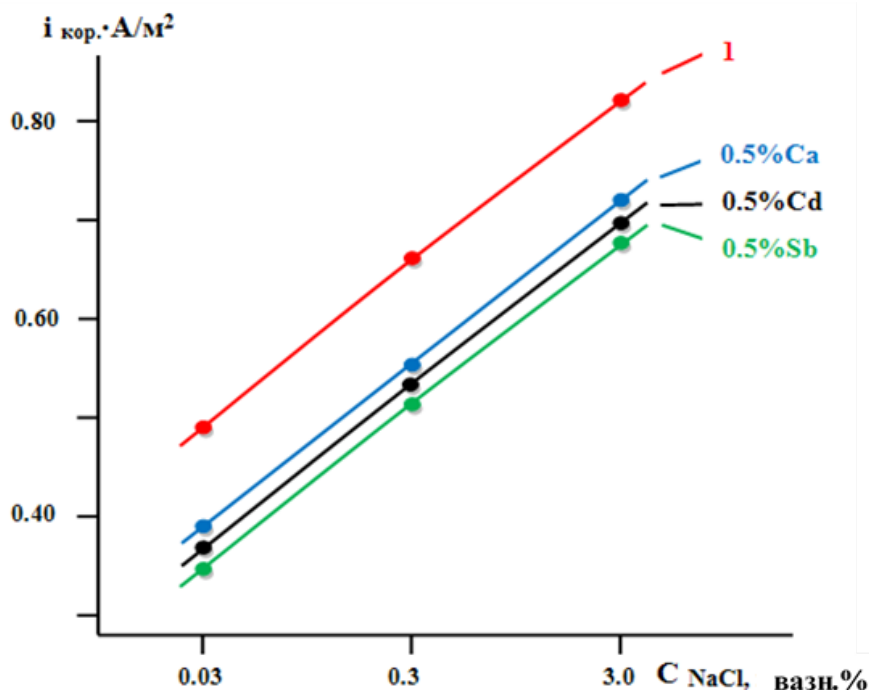
Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз миқдори калсий, кадмий ва сурма дар муҳити электролитҳои 0,03, 0,3 ва 3,0%-и NaCl нишон медиҳад, ки иловаҳои калсий, кадмий, ва сурма дар хӯлаи E-AlMgSi («алдрей»), суръати зангзании онро дар тамоми муҳитҳои таҳқиқоқшавандаи электролити NaCl то 20% кам мекунанд (расми 4.14).



**Расми 4.14** - Вобастагии суръати зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») аз консентратсияи калсий, кадмий ва сурма, дар муҳити электролити 3,0%-и NaCl.

Бинобар ин зиёдшавии консентратсияи электролити NaCl (ион-хлорид) ба баланд шудани суръати зангзании хӯлаҳо мусоидат мекунанд.

Суръати зангзанӣ ва зичии чараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») хангоми консентратсияи 0,5 ваз.% калсий нисбат ба кадмий ва сурма қимати минималӣ дорад (расми 4.15). Пас таркиби хӯлаҳои нишондодашуда аз ҷиҳати зангзанӣ оптималӣ мебошанд.



Расми 4.15 - Вобастагии зичии чараёни зангзании хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») (1), ба миқдори 0,5 ваз.% калсий, кадмий ва сурма аз консентратсияи NaCl

## ХУЛОСАҶО

1. Дар речаи «хунукшавӣ» вобастагии ҳарорати гармиғунҷоиши хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма ҷавҳаронидашуда омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки бо зиёд шудани консентратсияи компонентҳои ҷавҳаронида гармиғунҷоишӣ хӯлаҳо кам шуда, аз ҳарорат зиёд мешавад. Ҳангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои бо кадмий ва сурма гузаштан бузургии гармиғунҷоиши хӯлаҳо кам мешавад.

2. Таҳқиқотҳои вобастагии ҳарорат аз тағйироти функсияҳои термодинамикии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), ҷавҳаронидашуда бо калсий, кадмий ва сурма нишон доданд, ки



хангоми аз хӯлаҳои бо калсий ба хӯлаҳои сурма гузаштан бузургҳои энталпия ва энтропия кам мешаванд. Бо зиёд шудани ҳарорат энталпия ва энтропияи хӯлаҳо зиёд шуда, қимати энергияи Гиббс кам мешавад. Тағйирёбии гармиғунҷоиш ва функсияҳои термодинамикии хӯлаи алюминийи («алдрей») хангоми чавҳаронидани калсий, кадмий ва сурма, баланд шудани дараҷаи гетерогении структураи хӯлаҳоро хангоми чавҳаронидан онҳо бо металлҳои нишондодашуда меаҳмонад [2-3,5-6,12,14,13-М].

3. Кинетикаи оксидшавии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда тавассути усули термогравиметрия омӯхта шуд. Муқаррар карда шудааст, ки оксидшавии хӯлаҳо ба қонуни гипербола итоат намуда, суръати ҳақиқии оксидшави ба тартиби  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup> аст; Муайян карда шуд, ки қиматҳои минималии суръати оксидшавӣ ба хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо сурма ва максималӣ ба хӯлаҳои калсий таълуқ доранд [2-3,5-6,12-14-М].

4. Рафтори анодии хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей»), бо калсий, кадмий ва сурма чавҳаронидашуда, бо усули потенциостатикӣ дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати гардиши потенциали 2 мВ/с омӯхта шуд. Нишон дода шудааст, ки илова кардани компонентҳои чавҳаронида ба миқдори аз 0,05 то 1,0 ваз.% устувории зангзании хӯлаи алюминийи E-AlMgSi –ро дар муҳити нейтралӣ электролити NaCl ба 20% зиёд мекунад. Зиёдшавии суръати зангзании хӯлаҳо бо консентратсияи электролити NaCl муқаррар карда шудааст. Дар ин ҳолат, потенциалҳои асосии электрохимиявии хӯлаҳо ба минтақаи қиматҳои манфӣ лағжиш менамояд [1, 4, 9-11-М].

5. Муқаррар карда шуд, ки қонунияти физикавӣ-химиявии тағйирёбии хосиятҳои хӯлаи алюминийи E-AlMgSi («алдрей») ҳамчун асос барои коркарди таркиби хӯлаҳои нав, ки бо нахустпатенти

Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудаанд, хизмат мекунанд. № ТҶ 1220 аз 14.12.2021с [8-М].

### **Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо**

1. Параметрҳои физико-химиявии муқарраршудаи хӯлаи ноқили алюминийи E-AlMgSi («алдрей») бо калсий, кадмий ва сурма барои пур кардани саҳифаҳои маълумотномаҳои дахлдор тавсия карда мешаванд.

2. Хӯлаҳои коркардшуда ва усулҳои истеҳсоли онҳо, барои истифода бурдани корхонаҳои саноатии тобеи Вазорати саноат ва технологияи нави Ҷумҳурии Тоҷикистон тавсия дода мешаванд.

3. Хӯлаҳо ба сифати ноқилҳои чараё ба соҳаи саноатӣ электротехника пешниҳод карда мешаванд.

## АДАБИЁТҲО

[1]. Захаров, М.В. Влияние различных элементов на электропроводность, твердость и температуру рекристаллизации алюминия марки АВ000 / М.В. Захаров, Т.Д. Лисовская // Известия вузов. Цветная металлургия. 1965. №3.

[2]. Воронцова, Л.А. Применение алюминия и его сплавов в различных областях электротехнического производства / Л.А. Воронцова. М.: Изд-во Отделения научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике. 1965.

[3]. Промышленные алюминиевые сплавы / М.Б. Альтман [и др.]. - М.: Металлургия. 1984. -528 с.

[4]. Алюминиевые сплавы. Применение алюминиевых сплавов: Справочное руководство / И.В. Горынин [и др.]. - М.: Металлургия. 1978.

[5]. Хэтч, Дж.Е. Алюминий. Свойства и физическое металловедение: Справочник / Дж.Е. Хэтч. - М.: Металлургия. 1989.

[6]. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах / В.Е. Зиновьев. М.: Металлургия. 1989. -385 с.

[7]. Температуропроводность и теплопроводность твердого и жидкого олова / В.Е. Зиновьев, А.А. Баскакова, И.Г. Коршунов, Л.Д. Загребин // ИФЖ. 1973. Т.25. -С.490-494.

[8]. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочник / Под ред. В.П. Глушкова. М.: Наука. 1982. -559 с.

[9]. Свойства элементов: Справочник / Под ред. М.Е. Дрица. – М.: Металлургия. 1985. -671 с.

[10]. Но, С.У. Thermal conductivity of the elements a comprehensive review / С.У. Но, R.W. Powel, P.E. Leley // J. Phys. Chem. Rev. Data. 1974. V.3.

[11]. Kamioka, H. Change of ultrasonic wave velocity in indium near the melting point / H. Kamioka // J. Phys Soc. Japan. 1983. V.52. №8. -P.2784-2789.

[12]. Веббер, Дж. Физическая акустика. Т.4. Применение физической акустики в квантовой физике и физике твёрдого тела / Дж. Веббер, Р. Стефенс / Под ред. У. Мезона. М.: Мир, 1970. -С.75-122.

[13]. Смирнов, И.А. Электронная теплопроводность в металлах и полупроводниках / И.А. Смирнов, В.И. Тамарченко. Л. Наука. 1977. -151 с.

[14]. Atsara, T. Conductivity and thermoelectric power of electrical resistivity thermal transition metals at high temperature / T. Atsara, M. Shtmizy // J. Phys. Soc. Japan. 1970. V.28. -P.646-654.

[15]. Hochler, J. [et. al.]. - Met A 6, 151883.

[16]. Owen, E. [et. al.] // Phil. Mag. 1948. V.831. -P.39.

[17]. Kutner, F. [et. al.]. Met A 4. 320197.

[18]. Kononenko, V. I. [et. al.]. Met A 3. 330310.

[19]. Hardy, K.H. - JIMMA 18, 163, 758; 19, 637; 21, 603; 23, 1081.

[20]. Batalin, G.I. [et. al.]. - Met A 6, 151592.

[21]. Raub, E. [et. al.]. - JIMMA 15, 396.

[22]. Aldrich, R.G. [et. al.]. - MA 1, 1391; Met A 1, 320433.

[23]. Plumbridge, W.J. [et. al.]. - Met A 1, 120587.

[24]. Doerinkel, F. - CZ 1906, 1, 535.

[25]. Wittig, F.E. [et. al.]. - JIMMA 32, 395.

[26]. Volkenstein, N.V. Scattering mechanisms of conduction electrons in transition metals at low temperatures / N.V. Volkenstein, V.P. Dyakina, V.E. Startsev // Phys. Stat. Sol. 1978. V.576. -P.9-48.

[27]. Touloukian, Y. Thermal properties of matter. V.10. Thermal diffusivity / Y. Touloukian // S-N, Y, W IFI. Plenum, 1973. -649 p.

[28]. Selected values of the thermodynamic properties of the elements / P. Hultgren [et al.] // Metals park. 1973.

[29]. Окисление жидких сплавов системы висмут-олово-свинец / А.В. Карлов, Н.В. Белоусова, Е.В. Карлов [и др.] / Расплавы. 2002. №4. -С.22-26.

[30]. Одинаев, Ф.Р. Физико-химические свойства алюминиевого сплава АЖ4.5 с оловом, свинцом и висмутом: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04 / Ф.Р. Одинаев. Душанбе, Ин-т химии им. В.И. Никитина НАН Таджикистана. 2020. -С.39-41.

[31]. Рахмонов, К.А. Синтез и свойства сплавов алюминия с железом и редкоземельными металлами иттриевой подгруппы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04 / К.А. Рахмонов. Душанбе, Ин-т химии им. В.И. Никитина АН РТ. 2006. -22 с.

[32]. Теплопроводность твердых тел: Справочник / Под ред. А.С. Охотника. М: Энергоатомиздат. 1984. -321 с.

[33]. Джайлоев, Дж.Х. Физико-химические свойства алюминиевого сплава АЖ2,18 с щёлочноземельными металлами: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04 // Дж.Х. Джайлоев. Душанбе. 2019. -139 с.

[34]. Эшов, Б.Б. Физико-химические свойства алюминиевых сплавов с элементами II и III групп периодической таблицы: дис. ... док. техн. наук: 02.00.04 // Б.Б. Эшов. Душанбе, 2016. -275 с.

[36]. Сафаров, А.Г. Физико-химические свойства алюминиевых сплавов с кремнием, железом, оловом, свинцом, сурьмой и висмутом // А.Г. Сафаров. Душанбе. 2021. -281 с.

[37]. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / Л.Ф. Мондольфо. М.: Металлургия. 1979. -48 с.

[38]. Эллиот, Р.П. Структуры двойных сплавов / Р.П. Эллиот. М.: Металлургия. 1970. Т.1-2. -С.456-472.

[39]. Хансен, М. Структура двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. М.: Металлургиздат. 1962. Т.1. -1188 с.

[40]. Шанк, Ф.А. Структуры двойных сплавов / Ф.А. Шанк. М.: Металлургия. 1973. -760 с.

[41]. Иброхимов, Н.Ф. Физикохимия сплава АМг2 с редкоземельными металлами // Н.Ф. Иброхимов, И.Н. Ганиев, Х.О.

Одинаев. Душанбе. Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими. 2016. -153 с.

[42]. Платунов, Е.С. Теплофизические измерения в монотонном режиме / Е.С. Платунов. М.: Энергия. 1973. -144 с.

[43]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 510. Установка для измерения теплоёмкости твёрдых тел / З. Низомов, Б. Гулов, Р. Саидов, З.Р. Обидов, Ф. Мирзоев, З. Авезов, Н.Ф. Иброхимов. Приоритет изобретения от 03.10.2011.

[44]. Измерение удельной теплоёмкости твёрдых тел методом охлаждения / З. Низомов, Б. Гулов, Р.Х. Саидов, З. Авезов // Вестник Таджикского национального университета. 2010. Вып.3(59). -С.136-140.

[45]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ877. Установка для определений теплоемкости и теплопроводности твердых тел. Приоритет изобретения от 20.04.2017 г.

[46]. De Michell Stella. Pitting corrosion of Al-Sn alloys in Nacl solutions // VII Congr. Metal. Corros: Ext. Abstr. Rio de Janeiro. 1978. -Р.129-130.

[47]. Влияние добавок олова на коррозионное и электрохимическое поведение алюминия / В.С. Синявский [и др.] // Защита металлов. 1987. Т.23. №5. -С.801-805.

[48]. Golubev A.I., etc., JIMMA 32, 1151; Met A 1, 350257.

[49]. Tsygankova L.E., etc., MA 2,915.

[50]. Алюминиевые сплавы. Свойства, обработка, применение / Под ред. М.Е. Дриц. - М.: Metallurgia. 1979. -679 с.

[51]. Murray G.W., etc., Met. A 1, 350276.

[52]. Потенциодинамическое исследование сплава Al+2,18%Fe, легированного оловом и висмутом / С.С. Раджабалиев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, М.Т. Норова // Известия СГТИ. 2016. №35(61). -С.22-25.

[53]. Красноярский, В.В. Коррозионно-электрохимические свойства сплавов алюминия с железом в нейтральных растворах / В.В.

Красноярский, Н.Р. Сайдалиев // Защита от коррозии и окружающая среда. М. 1991. Вып.3. -С.14-19.

[54]. Каримова, Т.М. Исследование коррозионно-электрохимического поведения алюминиево-марганцевых сплавов в нейтральных средах / Т.М. Каримова, И.Н. Ганиев, В.В. Красноярский // ЖПХ. 1988. №1. -С.51-54.

[55]. 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. V.52. Iss.1. -P.138-140.

[56]. Теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов системы Pb-Sr / Н.М. Муллоева, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т.6. №6. - С.38-42.

[57]. Алиев, Ф.А. Свойства алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с элементами подгруппы галлия: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01-05.17.03 // Ф.А. Алиев. Душанбе. 2020. -154 с.

[58]. Ганиев, И.Н. О коэффициенте теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с индием / И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Ф.А. Алиев // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. 2020. №2-2(75). -С.49-53.

[59]. Теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного галлием / И.Н. Ганиев, Ф.А. Алиев, Х.О. Одиназода [и др.] / Известия вузов. Материалы электронной техники. 2019. Т.22. №3. -С.219-227.

[60]. Мальцев, М.В. Модификаторы структуры металлов и сплавов / М.В. Мальцев. - М.: Металлургия. 1964. -238 с.

[61]. Столярова, О.А. Обоснование состава и структуры литейных антифрикционных алюминиевых сплавов, легированных легкоплавкими металлами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.А. Столярова. – М., 2016. -25 с.

[62]. Авраамов, Ю.С. Теоретические основы, технология и свойства сплавов на основе несмешивающихся компонентов: Учебное пособие. - М.: МГМУ. 2002. -376 с.

[63]. Ганиев, И.Н. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АК1М2 с кальцием / И.Н. Ганиев, М. Махмудов, М.М. Сангов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: техника и технологии. 2018. №3(28). -С.105-115.

[64]. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АК9 / М.Ч. Широных, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, Н.Ф. Иброхимов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №3(43). -С.27-29.

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

[66]. Влияние бария на температурную зависимость, удельную теплоемкость и на изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов [и др.] // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №4. -С.240-248.

[67]. Сафаров, А.Г. Физико-химические свойства алюминиевых сплавов с кремнием, железом, оловом, свинцом, сурьмой и висмутом // дис. д-ра техн. наук / А.Г. Сафаров. – Душанбе, Институт химии им. В.И. Никитина НАНТ. 2021. -С.281.

[68]. Луц, А.Р. Алюминий и его сплавы / А.Р. Луц, А.А. Суслина. - Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2013. -С.81.

[69]. Амонова, А.В. Физико-химические свойства сплавов Zn5Al и Zn55Al, легированных скандием, иттрием и эрбием: автореф. дис. ... канд. Хим. Наук / А.В. Амонова. Душанбе. 2016. -24 с.



[70]. Влияние добавок таллия на теплоёмкость цинкового сплава ЦАМСв4-1-2,5/ И.Н. Ганиев, П.Н. Абдухоликова, А.Э. Бердиев, С.Дж. Алихонова // Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы естественных наук и технологий», посвященная 20-летию изучения и развития естественных, точных и математических наук. Душанбе: РТСУ, 2020. -С.66-68.

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

[72]. Влияние скандия на физико-химические свойства сплава АМг4 / С.Ж. Иброхимов, Б.Б. Эшов, И.Н. Ганиев, Н.Ф. Иброхимов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т.16. №4. -С.256-260.

[73]. Исследование температурной зависимости удельной теплоёмкости алюминия марок ОСЧ и А7 / З. Низомов, Б.Н. Гулов, И.Н. Ганиев [и др.] // Доклады АН Республики Таджикистан. 2011. Т.54. №1. -С.53-59.

[74]. Температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплава АК1М2, легированного стронцием / И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, Н.Ф. Иброхимов, М. Махмудов // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2018. Т.21. №1. -С.35-42.

[75]. Раджабалиев, С.С. Физико-химические свойства сплава  $Al+2,18\%Fe$ , легированного оловом, свинцом и висмутом: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.С. Раджабалиев. Душанбе. 2017. -24 с.

[76]. Абдулаков, А.П. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного свинцом, в твёрдом состоянии / А.П. Абдулаков, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев,

Н.И. Ганиева // Международная научно-практическая конференция «Развитие энергетики и возможности». Бохтар. ИЭТ. 2020. -С.377-379.

[77]. Влияние висмута и свинца на фазовый состав и структуру сплава Al-5%Si-4%Cu-4%Sn / К.Ю. Червякова, А.О. Яковлева, Н.А. Белов, И.В. Шкалей // Известия вузов. Цветная металлургия. 2019. №2. -С. 43-50.

[78]. Лепинских, Б.М. Об окислении жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы / Б.М. Лепинских, В. Киселёв // Известия АН СССР. Металлы. 1974. №5. -С.51-54.

[79]. Лепинских, Б.М. Окисление жидких металлов и сплавов / Б.М. Лепинских, А. Киташев, А. Белоусов. - М.: Наука, 1973. 106 с.

[80]. Абдулаков А.П. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного оловом, в твёрдом состоянии / А.П. Абдулаков, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ф.А. Алиев, А.М. Сафаров // Республиканская научно-практическая конференция «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан». Душанбе: ТК ТТУ. 2021. -С.60-64.

[81]. Ганиев, И.Н. Особенности окисления алюминиевых расплавов с редкоземельными металлами / И.Н. Ганиев, Н.И. Ганиева, Д.Б. Эшова // Металлы. 2018. №3. -С.39-47.

[82]. Влияние кальция на кинетику окисления сплава АК12М2, в твердом состоянии / Ф.Ш. Зокиров, И.Н. Ганиев, Н.И. Ганиева, М.М. Сангов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №4. -С.130-138.

[83]. Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2018. №4. -С.214-220.

[84]. Кинетика окисления сплава Al+6%Li, модифицированного лантаном, в твердом состоянии / Ш.А. Назаров, И.Н. Ганиев, Irene Calliari [и др.] // Металлы. 2018. №1. -С.34-40.

[85]. Норова, М.Т. Кинетика окисления сплава AMг0.2 с лантаном, празеодимом и неодимом, в твёрдом состоянии / М.Т. Норова, И.Н.

Ганиев, Б.Б. Эшов // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (Технологического университета). 2018. №44(70). - С.35-39.

[86]. Влияние церия на кинетику окисления твёрдого сплава  $Al+2.18\%Fe$  / А.Х. Хакимов, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, А.Э. Бердиев // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. Физ.-мат., хим. и геол. наук. 2012. №3(148). -С.87-91.

[87]. Кинетика окисления сплава  $Al+6\%Li$ , модифицированного церием / Ш.А. Назаров, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, Н.И. Ганиева // Металлы. 2018. №3. -С.33-38.

[88]. Ганиев, И.Н. Особенности окисления алюминиевых расплавов с редкоземельными металлами / И.Н. Ганиев, Н.И. Ганиева, Д.Б. Эшова // Металлы. 2018. №3. -С.39-47.

[89]. Норова, М.Т. Кинетика окисления сплава  $AMg0.2$  с лантаном, празеодимом и неодимом, в твердом состоянии / М.Т. Норова, И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов // Известия Санкт-Петербургского государственного технического института (Технологического университета). 2018. №44(70). -С.35-39.

[90]. Кинетика окисления сплава  $AK9M2$ , легированного скандием / И.Н. Ганиев, Дж.Т. Ашурматов, С.С. Гулов, А.Э. Бердиев // Доклады АН Республики Таджикистан. 2017. Т.60. №10. -С.552-556.

[91]. Высокотемпературное окисление сплава  $Zn+0.5\%Al$ , легированного таллием, в твердом состоянии / Н.Б. Одинаева, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.Р. Сафарова // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. №1(41). -С.113-119.

[92]. Холов Ё.Дж. Электрохимическая коррозия проводникового алюминия, легированного медью, в среде электролита  $NaCl$  / Холов Ё.Дж И.Н. Ганиев, А.П. Абдулаков, Алиев Ф.А., Рашидов А.Р. // Вестник Казанского технологического университета. 2018. Т.22. №9. -С.56-60.

[93]. Ганиев, И.Н. Синтез, физико-химические свойства и применение алюминиевых сплавов с редкоземельными и щёлочноземельными металлами: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.01 / И.Н. Ганиев. Ташкент. 1991. -С.650.

[94]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1058. Алюминиевый проводниковый сплав / И.Н. Ганиев, А.П. Абдулаков, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, Н.И. Ганиева, Ф.А. Алиев, А.Р. Рашидов, Ё.Дж. Холов / Приоритет изобретения от 02.05.2019 г. (Дата госрегистрации 14.02.2020 г.).

[95]. Ганиев И.Н., Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей»)с оловом, в среде электролита 0.03%-ного NaCl / Холов Ё.Дж И.Н. Ганиев, А.П. Абдулаков, Алиев Ф.А., Рашидов А.Р. // Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы индустриализации Республики Таджикистан: проблемы и стратегии». Часть 1. Душанбе. ТУТ. 2019. -С.11-15.

[96]. Вазиров, Н.Ш. Влияние церия, празеодима и неодима на свойства сплава АМгб: дис. ... канд. техн. наук / Н.Ш. Вазиров. Душанбе. 2019. -С.140.

[97]. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов: учебник для вузах. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МИСиС. 1998. -399 с.

[98]. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов: учебник.- М.: Металлургия. 1979. -495 с.

[99]. Усов В.В., Займовский А.С. Проводниковые, реостатные и контактные материалы. Материалы и сплавы в электротехнике Том II. - М.: Госэнергоиздат. 1957. -184 с.

[100]. Луц А.Р., Суслина А.А. Алюминий и его сплавы. Самара: Самарск. Гос. тех. универ. 2013. -81 с.

[101]. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). - Под ред. И.Н. Фридляндера. К.: Комитех. 2005. -365с.

[102]. Райтбарг Л.Х. Алюминиевые сплавы: свойства, обработка, применение. Отв. ред. Изд. 13-е, перераб. и доп. -М.: Металлургия. 1979. -679 с.

[103]. Васильев Е.Б., Ленская Е.В. Тенденции развития кабельной промышленности в странах Юго-Восточной Азии (Заседание Генеральной Ассамблеи АWССА 2020). Кабели и провода. 2021. № 1 (387). -С. 35-43.

[104]. Денисова Э. И., Карташов В. В., Рычков В. Н. Прикладное материаловедение: металлы и сплавы. 2018. -214 с.

[105]. Меркулова Г. А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов (конспект лекций). Красноярск. 2007. -263с.

[106]. Умарова Т.М., Ганиев И.Н. Коррозия двойных алюминиевых сплавов в нейтральных средах. Душанбе. 2007. -258с.

[107]. Киров С.А., Козлов А.В., Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения. Учебное пособие - М.: ООП Физический факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. 2012. -52с.

[108]. Тарсин А.В., Костерин К.С. Определение теплоёмкости металлов методом охлаждения. Лабораторные занятия-Ухта: Ухтинский государственный технический университет. 2014. -34с.

[109]. Игишева А.Л. Соболева Э.Г. Измерение удельной теплоемкости твердого тела методом монотонного охлаждения. Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современное состояние и проблемы естественных наук». Юргинский технологический институт. 2015. -С. 74-78.

[110]. Ганиев И.Н., Назарова М.Т., Курбонова М.З., Якубов У.Ш. Влияния натрия на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функции алюминиевого сплава АВ1. Известия

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический институт). 2019. № 51(77). -С. 25-30.

[111]. Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Асоев М. Дж., Якубов У.Ш., Кабутов К.К. Температурная зависимость теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов системы Al-Sn. Вестник Сибирский государственный индустриальный университет. 2021. № (35). -С. 35-41.

[112]. Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Асоев М. Дж., Якубов У.Ш., Кабутов К.К. Теплофизические и термодинамические свойства сплавов системы Al-Bi. Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2020. Т.76. № 3. -С. 23-29.

[113]. Худойбердизода С.У., Ганиев И.Н., Отаджонов С.Э., Эшов Б.Б., Якубов У.Ш. Влияние меди на теплоемкость и изменения термодинамических функций свинца. Теплофизика высоких температур, 2021. Т.59. № 3. -С. 208-216.

[114]. Ганиев И.Н., Ходжаназаров Х.М., Ходжаев Ф.К., Эшов Б.Б. Теплоемкость термодинамические функции свинцового баббита БНА (PbSb15Sn10Na), легированного натрием // Журнал физической химии. 2023. № 97(4). -С. 469-475.

[115]. Ганиев И.Н., Аминбекова М.С., Муллоева М.Н., Окилов Ш.Ш., Якубов У.Ш. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций свинцово-сурьмяного сплава  $SSu_3$ , легированного кадмием // Материаловедение. 2023. № 1. -С. 3-8.

[116]. Бодряков В.Ю. О корреляции температурных зависимостей теплового расширения и теплоемкости вплоть до точки плавления тугоплавкого металла: молибден // Теплофизика высоких температур. 2014. Т. 52. №6. -С.863-868.

[117]. Филатов Ю.Я. Сплавы системы Al-Mg-Sc как особая группа деформируемых алюминиевых сплавов // Технология легких сплавов. 2014. №2. -С.34-41.

[118]. Исмаилов Н.Ш., Ибрагимов Х.А. Разработка малолегированного алюминиевого сплава для электротехнических изделий // Успехи современной науки. 2017. Т.1. №6. -С. 236-240.

[119]. Сетюков О.А. Влияние железа и кремния на литейные свойства алюминиевых сплавов с марганцем // Технология легких сплавов. 2010. №1. -С. 32-37.

[120]. Ганиев И.Н., Амиров А.Дж., Джайлоев Дж.Х., Зокиров Ф.Ш., Амонзода И.Т. Влияние лантана, церия, празеодима на коррозионно-электрохимическое поведение алюминиевого проводникового сплава AlTi0.1 в среде электролита NaCl // Вопросы материаловедения. 2024. №3(119). -С. 187-196.

## **МУНДАРИЧАИ АСОСИИ РИСОЛА ДАР НАШРИЯҲОИ ЗЕРИН БАЁН ГАРДИДААНД:**

**Мақолаҳое, ки дар маҷалаҳои илмӣ аз тарафи ҚОА назди Президенти  
Ҷумҳурии Тоҷикистон эътироф гардидаанд, инчунин дар журналҳои ба  
руйхат дохилшуда Scopus Web of Sciens**

[1-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi (алдрей), в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 4. С. 267—274. (**SCOPUS - Q3**)

Effect of calcium doping on the anodic behavior of E-AlMgSi (Aldrey) conducting aluminum alloy in NaCl electrolyte medium / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, **E.J. Kholov**, N.I. Ganieva / Modern Electronic Materials. 2023; 9(1): P.33–38. (**SCOPUS - Q3**).

[2-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, В.Д. Абулхаев // Известия

высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2021. Т. 24, № 2. -С. 131—137. (SCOPUS - Q3).

E-AlMgSi (Aldrey) aluminum alloy solid state cadmium oxidation kinetics / I.N. Ganiev, J.H. Jayloev, E.J. Kholov, N.I. Ganieva, V.D. Abulkhaev // Modern Electronic Materials. 2022; 8(2): -P.79–83. (SCOPUS - Q3).

[3-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («Алдрей») с кальцием, кадмием и сурьмой в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров //Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2024. № 2, С. 72-85.

[4-М]. **Холов, Ё.Дж.** Анодное поведение проводникового алюминиевого сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева, И.Т. Амонзода, Х.М. Ходжаназаров // Практика противокоррозионной защиты. 2023, Т.8, №4, С. 22-29.

[5-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и тех. наук. 2021. №1 (182). С. 75-81.

[6-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. Душанбе – 2021. - №1(10-11). –С.134-136.

[7-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на теплоемкость и коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») /Ё.Дж. Холов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. - 2022. - №2/2(99). - С.77-82.



### Ихтироот аз рӯи мавзӯи рисола:

[8-М]. Нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон № ТҶ 1220. Хӯлаи алюминийи ноқилӣ / аризадиҳанда ва дорандагони патент: И.Н. Ганиев, А.М. Сафаров, Ё.Ҷ. Холов, Ф.А. Алиев, Ҷ.Ҷ. Чайлоев, У.Ш. Якубов, А.Р. Рашидов, Ф.С. Давлатзода, А.П. Абдулаков. / №2101517; ариз. 12.03.2021с, чоп. 14.12.2021с.

### Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои конференсияҳои байналмиллалӣ ва ҷумҳуриявӣ аз ҷоп баромаданд

[9-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кальцием, в среде электролита 0,3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, У.Н. Фазуллоев // Мат. Респ. научно-практ. конф., посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук, «Актуальные вопросы естественных наук и технологий».-Душанбе: РТСУ, 2020. С. 76-78.

[10-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с кадмием, в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научной конф. «Инновационное развитие науки». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2020.- С. 170-172.

[11-М]. Холов, Ё.Дж. Анодное поведение алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») с сурьмой в среде электролита 3%-ного NaCl / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Развитие энергетики и возможности».- ИЭТ, г. Бохтар, 2020.- С. 388-390.

[12-М]. Холов, Ё.Дж. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кадмием, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И.

Ганиева, А.Дж. Амиров // Мат. Межд. научно-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики РТ: состояние, проблемы и перспективы».- МИСиС, г. Душанбе, 2020. - С. 356-359.

[13-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние сурьмы на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов, А.Г. Сафаров // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан». - Душанбе: ТТУ, 2021. –С.90-95.

[14-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного сурьмой, в твердом состоянии / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-практ. конф. XVI Нумановские чтения «Достижения химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан», посвященной 75 – летию Института химии имени В.И. Никитина и 40 – летию лаборатории «Коррозионостойкие материалы». - Душанбе, 2021. -С. 99-102.

[15-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние кальция на теплоемкость алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев // Респ. научно-практ. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов». ГУ «Центр по исследованию инновационных технологий» НАНТ, г. Душанбе, 2021.- С. 96-99.

[16-М]. **Холов, Ё.Дж.** Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (“алдрей”) с кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, А.М. Сафаров, Н.И. Ганиева // Мат. межд. научной конф. «Развитие энергетической отрасли в Республике Таджикистан» Технический колледж ТТУ им. М.С. Осими (г. Душанбе, 22 декабря). 2023. -С. 76-80.

[17-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кальция на изменение термодинамических функций алюминиевого проводникового сплава E-

AlMgSi («алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Ш.Ш. Окилов // Мат. Межд. научно-прак. конф. «XII Ломоносовские чтения», посвященной Дню таджикской науки и 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. ЧАСТЬ I. Естественные науки. -Душанбе, 2022. -С.133-135.

[18-М]. **Холов, Ё.Дж.** Влияние добавок кадмия на коэффициент теплоотдачи алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (« алдрей») / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Н.И. Ганиева // Мат. Респ. научно-прак. конф. XVII Нумановские чтения «Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук в XXI веке». - Душанбе, 2022. -С. 115-117.

[19-М]. **Холов, Ё.Дж.** Исследование физико-химических свойств алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi («алдрей»), легированного кальцием, кадмием и сурьмой / Ё.Дж. Холов, И.Н. Ганиев, Дж.Х. Джайлоев, Х.М. Ходжаназаров // Матер. межд. научно-терет. конф. «Значение изучения естественных, точных и математических наук в развитии медицинской технологии», посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере образования», (18 март 2024 года). Технический колледж технического университета Таджикистана имени академика М.Осими. -Душанбе, -С. 233-241.

## **ЗАМИМА**



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

## ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Ҳолов Ё.Ҷ.

муаллифи ихтирои *Ҳулаи алюминийи ноқили*

Ба ихтироъ  
нахустпатенти № ТҶ 1220 дода шудааст.

Дорандаи  
нахустпатент Ҳолов Ё.Ҷ.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Ҳаммуаллиф(он) Ғаниев И.Н., Сафаров А.М., Алиев Ф.А., Чайлоев Ҷ.Х.,  
Якубов У.Ш., Рашидов А.Р., Ф.С. Давлатзода, Абдулақов А.Н.

Аввалияти ихтироъ 12.03.2021

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 12.03.2021

Аризаи № 2101517

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

14 декабри с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 12 март с. 2021 то 12 март с. 2031

Ин шаҳодатнома ҳангоми амали гардонидани ҳукуку  
имтиёзхое, ки барои муаллифони ихтироот бо конуиғузории  
ҷорӣ муқаррар гардидаанд, нишон дода мешавад

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.