

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ**

Бо ҳуқуқи дастнавис

ТДУ: 669.017.11+534.2:546.3

ТКБ: 24.5

Қ - 44

ҚАЪФАРӢ АМИРШО САӢОБИД

**ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛАИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ
ҚАДВАЛИ ДАВРӢ ВА ТАҲҚИҚИ БА ҚАБАТҲО ҶУДОШАВӢ ДАР
СИСТЕМАҲОИ ИНДИЙ-ХАЛКОГЕНҲО (S, Se, Te)**

Диссертатсия

барои дарёфти дараҷаи илмии номзади илмҳои техникаӣ
аз рӯйи ихтисоси 02.00.04 - химияи физикӣ

Роҳбари илмӣ:

номзади илмҳои химия,
дотсент Нуров Қ. Б.

Мушовири илмӣ:

доктори илмҳои химия,
профессор Джураев Т. Д.

ДУШАНБЕ – 2024

МУНДАРИЧА		Саҳ.
НОМГУЌИ ИХТИСОРАҲО		4
МУҚАДДИМА		5
ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ		7
БОБИ I. ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ ТАЪСИРИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ҶАДВАЛИ ДАВРИИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВ		13
1.1. Хусусиятҳо, паҳншавӣ дар табиат, истехсол, истифодабарии индий ва хӯлаҳои он (шарҳи адабиёт).....		13
1.2. Баҳодиҳии дараҷаи омӯзиши системаҳои дучандаи индий бо элементҳои ҷадвали даврии Д.И. Менделеев.....		21
1.3. Баҳодиҳии навъҳои таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ҷадвали даврии Д.И. Менделеев		35
1.4. Мувозинати нонварианти ва пешгуӣи ҳосилшавии пайваस्ताгиҳои химиявӣ дар системаҳои индий бо дигар элементҳои ҷадвали даврии Д.И. Менделеев		44
Хулосаи боби якум		55
БОБИ II. БАҲОДИҲИИ ТЕРМОДИНАМИКИИ НАВЪҲОИ БОҲАМТАЪСИРКУНИИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ҶАДВАЛИ ДАВРИИ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ		58
2.1. Ҳисоб намудани энергияи мубодила ва пешгуӣи навъҳои системаҳои ба қабатҳо ҷудошаванда		58
2.2. Коркарди схемаи технологӣ ва раванди тозакунии ликватсионии индий аз баъзе ғашҳои мушқилгудоз		65
2.3. Ҳисоби фаъолияти термодинамикӣ ва энергияи озоди Гиббс дар компонентҳои хӯлаҳои дучандаи индий бо халкогенҳо (S, Se, Te) дар ҳолати моеъгӣ		79

2.4.	Ҳисоби энергияи таъсири мутақобилаи байнизарраҳо ва координатаҳои ба қабатҳо ҷудошавии критикӣ дар системаҳои индий-халкогенҳо (S, Se, Te)	84
	Хулосаи боби дуюм	87
БОБИ Ш. УСУЛИ ОМЎЗИШИ ХОСИЯТҲОИ УЛТРАСАДОИИ		
	ГУДОХТАҲО (қисми таҷрибавӣ).....	89
3.1.	Маводди ибтидоӣ ва тартиби таҷриба	89
3.2.	Блок-схемаи функционалӣ ва таҳияи сохти дастгоҳи гармидиҳӣ ва ченкунии ултрасадо	91
3.3.	Омӯзиши хосиятҳои ултрасадоии гудохтаҳои сулфур, селен ва теллур.....	102
3.4.	Таҳқиқи хосиятҳои ултрасадоии гудохтаҳои системаҳои In-S, In-Se ва In-Te бо мақсади муайян кардани координатаҳои критикӣ дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ	108
	Хулосаи боби сеюм.....	126
	Хулосаҳои умумӣ.....	127
	Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот.....	128
	Рӯйхати адабиёт.....	129
	Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия	143
	Замимаҳо.....	149

НОМГҶҲИ ИХТИСОРАҲО:

In-Э – индий-элемент;

ДХ – диаграммаи ҳолат;

Кр. – критикӣ (бухронӣ);

ЧД – чадвали даврии Д. И. Менделеев;

М – монотектика;

M_1+M_2 – моеъи₁ + моеъи₂.

МГ – металлҳои гузаранда (интиқоли);

МИЗ – металлҳои ишқорзаминӣ;

МХВ – минтақаи ҳалшавандагии васеъ;

ХМ – ҳалшавандагии маҳдуд;

ХН – ҳалшавандагии номаҳдуд;

ХХМ – ҳалшавандагии хеле маҳдуд;

О – маълумот дастрас нест;

П – перитектика;

УС – ултрасадо;

Э – эвтектика.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Муносибатҳои бисёрқутбӣ дар ҷаҳони мутамаддин робитаи корҳои таҳқиқотӣ ва амалиро афзоиш медиҳад, ки ҳадафи онҳо таҳияи мавод, хусусан, мавод барои мақсадҳои стратегӣ мебошанд. Хӯлаҳои пурсамари зиддифриксионӣ барои истифода дар техникаи атомӣ ва пайвастаҳои дорой хосиятҳои нодирӣ нимноқилӣ дар микроэлектроника ҳамаи онҳо маводи нави мебошанд, ки дар муддати кӯтоҳ бо истифода аз таҳлили физико-химиявӣ системаҳои металлӣ ба вуҷуд оварда шудаанд ва метавонанд сохта шаванд. Натиҷаҳои таҳлили номбурда дар шакли диаграммаҳои геометрии таркибӣ-хосиятӣ пешниҳод карда мешаванд, ки дар илми асосҳои таҳлили физико-химиявӣ ҳамчун диаграммаҳои фазавӣ ё ҳолатӣ маъмуланд. Онҳо имкон медиҳанд дар системаҳо таркиби оптималиро, ки дорой хосиятҳои муҳим буда, дар эҷоди композитсияҳо заруранд, интихоб намоем. Илова бар ин, диаграммаҳои ҳолатӣ тағйирёбии хосиятҳои компонентҳоро аз таркиби ғашҳо ва вайрон намудани таркиби стехиометриро муайян месозанд. ДХ нишон медиҳад, ки хӯлаҳои ҳосилшуда фазаҳои таркибашон тағйирёбанда ё доимӣ доранд. Маълумоти дар асоси ДХ ба даст оварда шуда, аҳамияти татбиқи дошта, ҳангоми коркарди технологияи синтезӣ маводди нав зарур аст.

Кори илмии пешниҳодшуда ба омӯзиши таъсири мутақобилаи яке аз металлҳои нодир-индий бо дигар элементҳои ҷадвали даврии (ҶД) Д.И. Менделеев ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои дукомпонентаи In-S, In-Se ва In-Te бахшида шудааст. Маълум аст, ки ҳангоми гудохтани индий бо баъзе металлҳои ҷадвали даврӣ диаграммаҳои мураккаби ҳолатӣ ҳосил мешаванд, ки дар як вақт мавҷудияти фазаҳои мобайнӣ, минтақаҳои маҳлулҳои саҳт ҷудошавиро дар фазаи моеъ ва табадуллотии гуногуни нонвариантӣ (эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ, перитектоидӣ, катактикӣ) инъикос мекунанд. Новобаста аз ин, на ҳамаи диаграммаҳои ҳолатии (ДХ) системаҳои дучандаи индий бо элементҳои ҶД сохта шудаанд ДХ сохташуда баъзан дилпурқунанда нестанд, зеро бархе аз муҳаққиқон ҳангоми гудохтан металлҳои аз ҷиҳати техникӣ на он қадар тозаро истифода

мебаранд. Дар робита ба ин, бо истифода аз компонентҳои аввалаи холис ё усулҳои нави таҳлили омори-термодинамикӣ, ки хосиятҳои компонентҳои холисро бо истифода аз усулҳои муосири моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ ба инобат мегиранд, мавриди таҳлили такрорӣ қарор диҳанд.

Дарачаи коркарди илмӣ, асосҳои назариявӣ ва методологии таҳқиқот.

Сохтани хатти қачи моновариантии мувозинатӣ дар ДХ системаҳои дучузъа яке аз масъалаҳои мураккаби таҳлили физико-химиявӣ ба ҳисоб меравад. То кунун барои сохтани онҳо методҳои гуногуни физикӣ ва химиявӣ барои ченкунии электрогузаронӣ, часпакӣ, зичӣ, таҳлили дифференциалӣ-гармӣ ва ғайра истифода мешавад. Методҳои болозикр бо сабабҳои маълум барои сохтани хатти қачи моновариантии мувозинатӣ методҳои аниқ набуда меҳнати зиёд ва масъалаҳои гуногуни норасоии техникаро ба вуҷуд меоранд. Методи ултрасадогӣ дар илми ҳозира яке аз методҳои аниқ ва сермаҳсултарин ба ҳисоб меравад.

Таҳлили адабиёт собит намуд, ки дар баробари қорҳои илмии ба анҷом расонида шуда, то шуруъ намудани таҳқиқотҳои мо аз 200 системае, ки дар онҳо соҳаи ба якдигар омехтанашавиро доранд, танҳо барои 8-10-то соҳаи дар боло номбаршуда пурра сохта шудааст. Системаҳои дучузъаи боқимондаи ин соҳа фақат бо хатҳои тире-тире ишора шудаасту халос.

Аз ин лиҳоз мақсади қори илмии пешниҳодшуда бо истифода аз методи УС омӯзиши таркиб, сохт ва муайян намудани хатти қачи моновариантии дар системаҳои In-S, In-Se ва In-Te мебошад. Зеро, ки суръати паҳншавии УС ҳамчун хосият ба тағйирёбии сохти атом ва хосиятҳои ғайри якҷинсагӣ ниҳоят ҳассос мебошад. Ба ғайр аз ин, бори аввал барои 6 системаи дучандаи индӣ бо металлҳои Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta бо истифода аз усулҳои баҳодиҳии омори ва термодинамикӣ намудҳои таъсири мутақобилаи байни компонентҳо ДХ сохта шуда ва дар асоси он бо усули ликватсионӣ схемаи технологияи тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушқилгудоз тартиб дода шудааст. Ҳангоми муҳокима ва хулосаҳо аз қори диссертатсионӣ, усулҳои муосири таҳқиқоти таркиб ва сохти ДХ истифода бурда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади кори диссертационӣ иборат аз таҳқиқи намудҳои боҳамтаъсиркунӣ дар системаҳои дучандаи индӣ бо дигар элементҳои ЧД, сохтани диаграммаҳои фазавӣ онҳо, системаҳои дучандаи омӯхтанашуда ва пурраомӯхтанашуда, арзёбии баъзе хосиятҳои термодинамикии хӯлаҳои дучанда бо иштироки индӣ, инчунин, бо роҳи таҷрибавӣ муайянкунии соҳаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои дучандаи индӣ бо сулфур, селен, теллур барои муайян намудани координатаҳои таназзули критикӣ дар мувозинати монотектикӣ мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- омӯзиши намудҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ЧД ва муайян намудани қонуниятҳои умумӣ дар мувозинати фазагии онҳо;

- омӯзиши таъсири мутақобила дар системаҳои дучандаи индӣ, ки омӯхта (пурра омӯхта нашуданд) нашудаанд, бо истифода аз усулҳои гуногуни пешгӯӣ муқаррар ва сохтани ДХ-и онҳо. Коркарди усули ликватсионии тоза кардани металлӣ асосӣ аз ғашҳои металлҳо (мушкилгудоз);

- муайян намудани хосиятҳои термодинамикии хӯлаҳои баъзе системаҳои дучанда бо иштироки индӣ;

- бо тарзи таҷрибавӣ муайян намудани таназзули координатаҳои критикии гудохтаҳои якҷинса дар ду фазаи гомергенӣ дар ҳудуди мувозинати монотектикӣ барои системаҳои дучандаи In-S, In-Se ва In-Te тавассути усулҳои замонавӣ таҳлили физико-химиявӣ;

- таҳияи гармкунаки баландҳарорат барои гудоختани намуна ва ченкунии хосиятҳои ултраакустикии гудохтаҳо;

- ҳисоб кардани энергияи Гиббс, фаъолнокӣ ва константаҳои таъсири байнизаррагии (хосиятҳои термодинамикии) хӯлаи In-S, (Se, Te) бо истифодаи назарияи маҳлулҳои регулярӣ.

Объекти тадқиқот: системаҳои дучандаи индӣ бо дигар элементҳои ҷадвали Д. И. Менделеев ва системаҳои дукомпонентаи In-S, In-Se, In-Te.

Мавзуи таҳқиқот: таъсири мутақобилаи индӣ бо элементҳои қадвали даврӣ ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои индӣ-халкогенҳо (S, Se, Te).

Навгони илми диссертатсия:

- бори аввал параметрҳои боҳамтаъсиркунии энергияи мубодила, энергияи пайвастшавии заррачаҳои ҳамном (In-In, элемент-элемент), гуногунном (In-элемент) бо элементҳои ҚД ҳисоб карда шуданд;

- диаграммаҳои ҳолатии мукамал барои 6 системаи дучандаи индӣ бо металлҳои мушкилгудози Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta бори аввал сохта шудаанд;

- схемаи технологӣ ва раванди тозакунии ликватсионии In аз баъзе гашҳои мушкилгудоз дар асоси ДХ дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta тартиб дода шудааст;

- таҳияи дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушкилгудоз, аз ҷумла индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ченкунии хосиятҳои ултраакустикии гудохта;

- бо истифода аз усулҳои таҳлили физикию химиявӣ бори аввал натиҷаҳои таҳқиқи ҳисобӣ ва таҷрибавии координатҳои таназзули критикии гудохтаи гетерогенӣ ба ду фазаи гомогенӣ дар минтақаи мувозинати монотектикӣ дар системаҳои дучандаи индӣ-сулфур, индӣ-селен, индӣ-теллур ба даст оварда шуданд;

- маротибаи аввал энергияи Гиббс, фаъолнокӣ, константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳо (хосиятҳои термодинамикӣ) дар ҳӯлаҳои системаҳои индӣ-сулфур, индӣ-селен, индӣ-теллур муайян гардида, ДХ-ашон сохта шуданд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии таҳқиқот. Диаграммаҳои мувозинати фазагии сохташуда ва дар натиҷаи ҳисобкунӣ ба даст овардани ифодаҳои хусусиятҳои термодинамикии ҳӯлаҳои In ба кам кардани хароҷоти моддии таҷрибаҳо ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодии равандҳо дар таҳияи технологияи тозакунии ликватсионӣ ва ҳосил кардани

хӯлаҳои нав мусоидат менамояд. Инчунин, ба фонди адабиёт маълумоти нав илова мекунад.

Нуктаҳои ба химоя пешниҳодшаванда:

- натиҷаҳои пешгӯии омори ва термодинамикӣ барои муайян сохтани навҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ЧД дар ҳолатҳои моеъ ва сахт;

- натиҷаи истифодаи ДХ сохташуда, ҷиҳати коркарди технологияи ба дастовардани материалҳои дорои хосиятҳои баланди зиддифриксионӣ дар системаҳои индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se ва Te;

- натиҷаҳои ҳисоб ва сохтани ДХ-и мукамал барои системаҳои дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- технологияи тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушкилгудоз дар асоси ДХ дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta;

- таҳияи дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушкилгудоз, инчунин, индӣ бо сулфур, селен ва теллур;

- натиҷаҳои муайян намудани хосиятҳои термодинамикӣ (константаҳои таъсири мутақобилаи байнизарраҳо, фаъолнокӣ ва энергияи Гиббс)-и хӯлаҳои системаҳои индӣ-сулфур, индӣ-селен, индӣ-теллур.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои ба дастовардашударо усулҳои муосири моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ, методи импульсӣ-фазаӣ, апробатсияи онҳо дар форум, конференсияҳои сатҳи байналмилалӣ чумхурияӣ ва нашри мавод дар маҷаллаҳои илмӣ соҳавӣ тасдиқ менамояд.

Диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ 02.00.04 - химияи физикӣ (илмҳои техникӣ), хусусан натиҷаи корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ба бандҳои 1, 2, 4 ва 11 мутобиқат мекунад.

1. Банди 1 - «Муайянкунии таҷрибавӣ ва ҳисобкунии ченакҳои сохти молекула ва сохтори фазоии моддаҳо» [боби III. § 3.3; 3.4].

2. Банди 2 - «Таҳқиқи эксперименталии хосиятҳои термодинамикии моддаҳо, ҳисобҳои функсияҳои термодинамикии системаҳои содда ва мураккаб дар асоси усули омори-термодинамикӣ ва омӯзиши гузаришҳои фазавӣ» [боби II. § 2.1; 2.3; 2.4].

3. Банди 4 - «Назарияи махлулҳо, таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ ва байнизарравӣ» [боби I. § 1.3; 1.4].

4. Банди 11 - «Асосҳои физикию химиявии равандҳои технологияи химиявӣ» [боби II. § 2.2].

Саҳми шахсии доктараби дараҷаи илмӣ дар таҳқиқот аз таҳлили адабиёт, банақшагирӣ ва гузаронидани таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавӣ иборат буда, инчунин, он бо таҳияву нашри мақолаҳо сурат гирифтааст.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия дар форум ва конференсияҳои сатҳҳои гуногун аз апробатсия гузаштаанд, масалан: конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Современные проблемы металлургической промышленности» ТТУ им. акад. М.С. Осими (Душанбе, 2021); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи: «Проблемаҳои муносири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040), 50-солагии факултети физика ва 90-солагии ДДОТ ба номи С. Айни (Душанбе 2021); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Паёми-роҳнамо» ДКМТ (Бустон, 2022); якумин конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения» посвященной памяти профессора Баситовой С.М., 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности д.х.н., профессора Азизкуловой О.А., ТНУ (Душанбе, 2022); IV конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Наука и технологии» (Алматы, Казахстан, 2022); конференсияи байналмилалии илмӣ-методӣ дар мавзӯи «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны» посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественно математических и точных дисциплин в области науки о образования (2020-2040 г.)», а также четвертая цель национальной стратегии-ускорение индустриализации страны ТГПУ им. С. Айни, (Душанбе, 2022);

Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум» (Улан-Удэ, Бурятия, 2022); конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (Челябинск, 2022); конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзуи «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук», ФМГУ имени М.В. Ломоносова в г.Душанбе (Душанбе, 2022); конференсияи ҷумҳуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д.х.н., профессор Лутфулло Солиева, ТГПУ имени С. Айни (Душанбе, 2023); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзуи «Роль и использование достижений естественных, точных и математических наук в производстве», посвященной дню науки. ТТК при ТТУ им. акад. М.С. Осими (Душанбе, 2023); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзуи «Нақши саноатикунонӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», ДДОТ ба номи С. Айнӣ (Душанбе, 2024).

Интишорот аз рӯйи мавзуи диссертатсия. Дар заминаи иҷрои кори диссертатсионӣ 26 мавод, аз ҷумла 1 мақола дар рӯйхати маҷаллаҳои тақризшавандаи базаи Scopus, 8 мақола дар нашрияҳои, ки ба рӯйхати маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА ҚТ ва КОА ФР дохил шудаанд, 1 нахустпатенти ҚТ, 3 мақола дар дигар маҷаллаҳои байналмилалӣ, 13 фишурдаи маъруза дар конференсияҳои байналмилалию ҷумҳуриявӣ ба таъб расидаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, 3 боб, 12 зербоб, 13 ҷадвал, 34 тасвири графикӣ, хӯлосаҳо, 120 номгӯйи адабиёт ва

замимаҳо иборат буда, дар маҷмӯъ 154 саҳифаи матни компютерриро ташкил медиҳад.

ҚИСМҲОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Муқаддима зарурат, аҳамияти назариявию амалии кор, мақсад ва вазифаҳо, наwgонии илмӣ ва сохтори диссертатсияро дар бар мегирад.

Боби якум асосан аз 4 зерфасл иборат буда, шарҳи адабиёт дар зерфасли 1.1 ба омӯзиши хусусиятҳо, паҳншавӣ дар табиат, истеҳсол, истифодабарии индий ва хӯлаҳои он таҳлил ва чамъбаст карда шудаанд. Қисматҳои зерфасли 1.2, 1.3 ва 1.4-и боби якум ба баҳодиҳии дараҷаи омӯзиши системаҳои дучандаи индий, арзёбии омории навҳои таъсири мутақобилаи индий, мувозинати нонвариантӣ ва пешгӯии ҳосилшавии пайвастагиҳои химиявӣ дар системаҳои индий бо дигар элементҳои ҷадвали Д.И. Менделеев бахшида шудааст.

Дар боби дуюм маълумоти муфассал оид ба масъалаҳои баҳодиҳии термодинамикии навҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ҶД, бо дар назар доштани пешгӯиҳои омори дар бораи навҳои таъсири мутақобилаи In бо системаҳои омӯхташаванда бо усули ҳисобҳои термодинамикӣ оварда шудааст.

Боби сеюм таҳқиқи хосиятҳои ултрасадо дар гудохтаи металлҳо ва нимноқилҳо, асосҳои методологии таҳқиқот оид ба муайян сохтани хосиятҳои акустикии гудохтаҳо дар ҳолати моеъгӣ муқаррар карда шудааст.

Барои чен кардани хосиятҳои ултрасадогӣ ва суръати ултрасадо дар гудохтаҳо асбобҳои стандартии электронӣ, аз ҷумла отсиллографи-СІ-70 бо агрегати пурқувваткунанда (дифференциалӣ), генератори сигнали синусоидалии баландбасомади Г4-102А, инчунин, басомадченкунандаи электронии рақамии ЧЗ-34А истифода шудааст.

**БОБИ I. ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ
ТАЪСИРИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ҶАДВАЛИ ДАВРИИ
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВ**

**1.1. Хусусиятҳо, паҳншавӣ дар табиат, истехсол, истифодабарии индий
ва хӯлаҳои он (шарҳи адабиёт)**

Индий металли нукрагини сафед, зудгудоз (харорати гудозиш ва ҷӯшиш 429,4 ва 2382 К) мебошад. Металли нарм буда, рақами тартибии 49 дорад. Дар гурӯҳи сеюми ҷадвали даврии элементҳои химиявии Д.И. Менделеев мебошад. Атоми индий дар ҳолати озод дорои се электрони валентӣ аст ва конфигуратсияи электрони $[Kr] \dots 4d^{10}5s^25p^1$ мебошад.

Асосҳои индий дар муқоиса бо гидроксидҳои металлҳои зергурӯҳи скандий хосияти сусти асосӣ дорад. Индий дорои пайвастиҳои гуногуни хеле устувор мебошад [1].

Металли индий массаи атомии 114,82 дошта, аз ду изотоп иборат аст: ^{113}In (4,33%) ва ^{115}In (95,67%). Изотопи дигари сунъии индий β -радиоактивӣ буда, давраи нимпарашавиаш $6 \cdot 10^{14}$ солро ташкил медиҳад. Радиоизотопи сунъии маъмултарин ва истифодашаванда ин ^{114}In мебошад, ки давраи нимтаксимшавии он 49 рӯзро ташкил медиҳад.

Индийро аввалин шуда соли 1863 аз ҷониби олимони немис Ф. Рейх ва Т. Рихтер ҳангоми таҳқиқи иштибоҳаи рӯҳи кони Фрайберг тавассути таҳлили спектралӣ кашф карда шудаанд. Бо сабаби ранги кабудии хатҳои спектралӣ элементҳои индий номи «индий»-ро сазовор гаштааст.

Хосияти муҳими дигари металли индий ҷакушхӯрӣ ва ҷандирии он аст. Элементи мазкур аз сурб нармтар буда, он бо ноҳун пай карда мешавад. Ҳангоми қадкунӣ индий овози махсуси характернок дошта, дар зери фишор деформатсия мешавад.

Маълумот оид ба муҳимтарин хосиятҳои физикӣ ва химиявии индий [2] гирифта шуда дар ҷадвали 1.1 оварда шудааст.

Ҷадвали 1.1. –Хусусиятҳои физикӣ ва химиявӣ индӣ

Номи хусусият	Қимат
Ранг	Сафеди нуқрагун
Рақами атомӣ	49
Вазни атомӣ	114,82
Радиуси атомӣ, Å	1,67
Соҳтори кристаллӣ	Орторомбии ба марказ нигаронидашуда (гранецентрированная)
Радиуси ионҳои Me^{3+} , Å (мувофиқи Голд Шмидт)	0,92
Ҳаҷми атом дар 293 К, cm^3/g -атом	288,75
Вазни хос, g/cm^3	7,31
Саҳтӣ, НВ, kg/mm^2	1
Саҳтӣ аз рӯи Моос	1,1-1,2
Ҳарорати гудозиш, К	429,4
Ҳарорати ҷӯшиш, К	2382
Иқтидори хоси гармӣ дар 293 К, кал/г. дараҷа	273,057
Муқовимати барқӣ $\rho \cdot 10^6$ дар 273 К, Ом см	281,37
Электрикгузаронӣ ($Hg=1$)	11,2
Ҳассосияти магнитӣ $\chi \cdot 10^{-6}$, эл. -магн. ед. дар 291 К	-273,11
Потенциали ионизатсия, эВ	
$Me \rightarrow Me^+ + e^-$	5,79
$Man \rightarrow Me^{2+} + e^-$	18,90
$Man \rightarrow Me^{3+} + e^-$	27,85
Потенциалҳои муқаррарӣ барои Me/Me^{3+} , (дар 298 К)	-273,34
Рақами гурӯҳ	III
Изотопҳои табиӣ (рақамҳои оммавӣ)	115 ва 113
Паҳншавӣ дар қабати замин, вазн бо %	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Паҳншавӣ дар табиат. Индӣ элементҳои хоси пароканда буда, миқдори миёнааш дар қишри замин (аз рӯи масса) $1,4 \cdot 10^{-50}\%$ аст. Минералҳои индӣ-рекизит $CuInS_2$, индит $FeIn_2S_4$, чилиндит $In(OH)_3$ ва индӣ худрӯй ниҳоят каманд, танҳо дар қонҳои қалъагидор бо захираи хеле хурд ва миқдори ночиз вомехӯранд [3, 4]. Аз рӯи хосиятҳои химиявӣ ва кристаллохимиявӣ индӣ бо руҳ, қалъагӣ, сурб, кадмӣ, мис ва оҳан наздик аст. Ин монандӣ боиси парокандашавӣ ва суст чамъ шудани индӣ дар як қатор маъданҳо ва чинсҳои кӯҳӣ мегардад. Ҳангоми равандҳои магматикӣ дар гранитҳо ва дигар чинсҳои табиатан турш кам чамъ мешавад. Чинсҳои миёна фавворазадашуда ва турш чунин миқдор индӣ доранд: $16 \cdot 10^{-6}$ ва $17 \cdot 10^{-6}\%$,

асосӣ ва ултраасосӣ - $9 \cdot 10^{-6}$ ва $7 \cdot 10^{-6}\%$. Микдори зиёди индий дар минералҳои сулфидӣ муайян карда шудааст, ки дар он элементро бо радиуси ионии шабеҳи изоморфӣ иваз мекунад (ҷадвали 1.2).

Ҷадвали 1.2. –Микдори индий дар маъданҳои гуногун ва минералҳо

Маъданҳо ва минералҳо	Микдори индий (10^{-6} , дар %)
Сфалерит	40
Ҳалкопирит	14
Касситерит	21
Сурб-силикат-сулфидӣ	445
Сурб-руҳӣ	22
Сурб-руҳӣ бо қалъагӣ	307
Қалъагӣ-сурб-ишқорӣ	1439

Ҳосилкунӣ. Микдори индий, ки ба муҳимтарин компоненти истеҳсолоти металлургӣ дохил мешавад, аз 5-7% зиёд нест. Ҳангоми ганигардонӣ индий тамоюл барои гузариш ба концентратҳои мисӣ-руҳиро зоҳир менамояд, дар маъданҳои қалъагидор он касситеритро пайгирӣ мекунад. Дар равандҳои коркарди пирометаллургии концентратҳои индий камбухоршаванда аст, агар он дар шакли оксиди олий ё металл бошад, яъне вобаста ба муҳит оксидкунандаи қавӣ ё барқароркунандаи қавӣ аст [3-6]. Аммо дар раванди металлургии оксиди InO_2 ё сулфиди In_2S фишори баланди буғ ба вучуд омада, индий буғгардон мешавад. Пухтани индий бо илова кардани хлоридҳои металлҳои ишқорӣ ё МИЗ анҷом дода шавад, интиқоли индий ба таври назаррас меафзояд.

Дар ҳолати боздошташуда дар ретортҳои амудӣ бо истеҳсоли руҳ бо усули пирометаллургӣ (электротермикӣ) он аз истеҳсоли худ аз рӯйи схемаи гидрометаллургӣ бо истихроҷи электрохимиявӣ (таносуби 55: 45) як андоза зиёд аст [7]. Бо усули пирометаллургӣ гули руҳ (цинковой оғарки) бо ангишт омехта дар аввал дар ҳарорати 1300-1500 К гарм ва ё дар 1200-1300 К брикет ва кокс карда мешаванд. Сипас барқароркунии оксиди руҳро дар печҳои ретортӣ дар ҳарорати 1600 К ба роҳ мемонанд ва руҳ дар шакли металли моеъ дар конденсаторҳо таҳшин мешавад [5]. Дар вақти брикеткунӣ ва

коксонидан индий ба таври назаррас бухоргардон мешавад (то 20%) ва дар буғаш концентрат мешавад. Зимни барқароркунӣ дар печҳои ретортӣ дистиллятсияи индий якҷоя бо руҳ ба 70% мерасад. Микдори чанг хангоми ба печҳои ретортӣ зам кардани брикетҳо ба ҳар 10^3 килограмм руҳи истеҳсолшуда, ки дар сублиматҳои индий қариб 0,010%-ро ташкил медиҳад, ба 23,9 килограмм баробар мегардад. Вобаста ба таркиби ибтидоии индий дар концентрат руҳи сиёҳ 0,002-0,007% In ва масалан, барои заводи Монако-хатто 0,010% мебошад. Ҳангоми тоза кардани руҳи сиёҳ тавассути ректификатсия индий дар боқимондаи сурб чамъ мешавад.

Бо усули гидрометаллургии ҳосилкунии руҳ гули шамъ (огарок) пас аз пухтан оксидшавии концентрат бо маҳлулҳои кислотаи сулфат ишқоронида мешавад. Ишқоронӣ дар ду муҳит (нейтралӣ ва туршӣ) гузаронида мешавад. Индий дар боқимондаи ҳалнашаванда - кеки руҳ боқӣ мемонад ва маҳлулҳо ба истихроҷи электрохимиявии руҳ фиристода мешаванд. Кекҳои руҳ, ки ба онҳо то 80% индий мегузарад, асосан бо роҳи велскунӣ-буғгардони оксидҳо аз шихтаи саҳт дар печҳои велтс, инчунин, бо фюмингкунии ғашҳо, ки дар он аз гудохта омехтаи карбонии газиро мегузаронанд, коркад мешавад. Ҳангоми велскунии кекҳо тақрибан 70% индий ба буғгардонӣ истихроҷ карда мешавад. Нишондиҳандаҳои технологияи раванди велс ҳангоми истифодабарии кокс бо микдори минималии фраксияи майда ва хокистараш на бештар аз 13% бештар мегардад. Микдори индий дар сублиматҳои роликии заводи руҳи Челябинск 0,031-0,034% ва дар клинкер 0,0096%-ро ташкил медиҳад. Баланд бардоштани концентратсияи хлор дар шихта аз 0,02 то 0,1% баровардани индиро ҳангоми велскунии кекҳо аз 60 то 80% зиёд мекунад, дар ҳоле ки микдори индий дар клинкер аз 0,008-0,01 то 0,004-0,005% кам мешавад дар велс-буғгардониҳо бошад ба 0,042% меафзояд.

Дар истеҳсоли сурб концентратҳо ба таври агломератсионӣ гудохта мешавад, сипас ба гудохтаи конӣ мегузаранд, ки дар натиҷа сурби сиёҳ ҳосил мекунад. Технологияи оксиген - электротермикии коркарди концентратҳои сурб самаранок аст, ки ба гудоختани мустақими ашёи хом асос ёфта, аз пухтани алгомерӣ мегузарад. Дар натиҷаи гудоختани кони

индий дар байни шлак ва сурб тақрибан баробар тақсим мешавад ва қариб панҷаки микдори аввала ба буғаш дохил мешавад, ҳол он ки таркиби он дар буғҳо то ба 0,01% мерасад. Дар чараёни коркарди сурб 90-95% индий ба съёмҳои мисӣ ва плёнкаи оксидӣ (дросс), ки аз сатҳи сурби моеъ ҷамъ шудааст мегузарад. Микдори индий дар онҳо одатан фоизи бениҳояд зиёдро ташкил медиҳад. Гирифтани индий бо маҳсулоти истеҳсоли сурб дар ИМА $26,6 \cdot 10^3$ кг ҳисоб карда мешавад. Дар вақти коркарди автоклави хӯлаҳои сурб - индий дар концентратсияи 0,08% таҳшин мешавад.

Ҳангоми гудохтани оксигени концентратҳо дар ҳолати баркашидашуда индий дар буғгардониҳо 39-44% мегузарад, ки ин нисбат ба гудохташавии инъикоскунанда хеле зиёд аст. Масалан, ҳангоми гудохтани шихтаи миси балхаш дар ҳолати баркашидашуда дар дами оксиген 62% таллий ва 40% индий ба ҷангу буғгардонӣ мегузарад, 27% таллий, 41% индий ба шлак, 11% таллий ва 19% индий ба штейн мегузарад. Дар раванди гудохтани шахтавӣ 60% In ба шлак, 32% ба штейн ва 7,4% ба буғгардонӣ мегузарад.

Технологияи мукамалтар аз сурб ва висмут тоза кардани қалъагӣ тавассути дисстиллятсия дар ҳарорати 1400-1500 К ва вакууми 10-70 Па мебошад, ки дар он индий дар якҷоягӣ бо сурб ва висмут буғгардон ва конденсатсия карда мешавад. Микдори индий дар конденсат то 86% мебошад.

Концентратсияи минбаъдаи индийро тавассути истихроҷи он ба шлаки намак, ишқоронидани шлак тавассути гудохтани кеки индий дар кислота, сементонӣ дар варақаҳои рух ва аз нав гудохтани исфанҷ дар зери қабати гидрооксиди натрий барои ба даст овардани индийи намунавӣ самаранок анҷом додан мумкин аст.

Ҷудокунии индий аз маҳсулотҳои ғанигардонидашуда. Дар раванди коркарди концентратҳои маъданҳои полиметаллӣ манбаъҳои потенциалии ба даст овардани индий як қатор партовҳо ва маҳсулоти мобайнии истеҳсолот (ғубори агломератсия, коксонии брикетҳо ва гудохтани конӣ, оксидҳои велс, шлакҳои гудозиши инъикосӣ) шуда метавонанд.

Концентратсиякунонӣ ва истеҳсоли индийи ғашдорро аз маҳсулоти ғанишуда аз рӯи ду раванди асосӣ амалӣ кардан мумкин аст: яқум концентратсиякунӣ ва дуҷум ҳалшавӣ. Раванди концентратсия ва ба даст овардани индийи ғашдор бо баромади то 88% ба таври зерин сурат мегирад [5-7]:

1) ба даст овардани концентрат тавассути таҳшинкунии пайвастагиҳои камҳалшавандаи индий (гидрооксид, фосфат, арсенат);

2) зимни дар ҳарорати 340-350 К ба маҳлули кислотаи сулфат ($m:c=1:4$) ҳалкунии концентрат барои 30-50 г/дм³ ба даст овардани кислотанокии боқимонда;

3) бо кислотаҳои алкилфосфорӣ экстраксия ва бо маҳлулҳои кислотаи гидронегхлорид реэкстраксия намудан;

4) ҷудо намуди индий дар шакли металли исфанҷӣ (губчатого металла) бо роҳи сементкунӣ дар руҳ ё алюминий;

5) брикет намудани металли исфанҷ ва ба даст овардани индийи ғашдор бо роҳи аз нав гудохтан дар зери қабати глитсерин бо илова кардани хлориди аммоний дар ҳарорати 430-440 К.

Раванди ҳалкунии концентрати индийро дар кислотаҳои гидрогенхлорид ва сулфат ба таври зерин гузарондан мумкин аст, ки дар он камаш 95-99% индий ба маҳлул мегузарад:

1. Нейтрализатсияи маҳлули намак то $pH=1,5$ дар ҳарорати 353 К ва дар давоми 2 соат нигоҳ доштан. Қалъагӣ қисман арсен ва дигар ғашҳоро ба таҳшин мефарорад. Талафоти индий дар чунин раванд 4-5%-ро дар бар мегирад.

2. Таҳшиншавии арсенати индий бо роҳи нейтрализатсияи минбаъдаи маҳлул то $pH=4,5$ дар 333 К дар давоми 2-3 соат. Баромади индий ҳамчун таҳшин 99% мебошад.

3. Дар давоми 2 соат ҳалшавии таҳшин дар кислотаи сулфати сероб дар ҳарорати 343 К 99% индийро ба маҳлул мегузаронад. Дар таҳшинӣ сулфати сурб боқӣ мемонад.

4. Тоза намудани махлул аз мис, арсен, висмут ва ғайра бо тарошаҳои оҳан дар 353 К, муддати 4 соат. Индӣ дар махлул 99%-ро дар бар мегирад.

5. Тоза намудани сулфиди махлул бо роҳи коркарди сулфиди натрий дар 313 К дар муддати 2-3 соат таҳшини сулфидҳо ҷудо мешавад, ки талафи индӣ 2-3%-ро ташкил медиҳад.

6. Тайёр кардани махлул барои сементонӣ тавассути ҳубобкунии ҳаво дар ҳарорати 343 К дар муддати 3 соат ҷиҳати тоза кардани гидрогенсулфид ва сементкунонии индӣ дар ҳарорати 343-353 К, давоми 4 соат дар алюминий. Гузариши индӣ ба металли исфанҷӣ 99% аст.

Ба кор бурдан ва дар оянда истифодабарии индӣ. Дар айни замон, аз рӯйи ҳисобҳои коршиносон, қисми зиёди индӣ дар ҷаҳон истеъмолшаванда (~80%) ба ниёзҳои технологияи нано ва нимноқилҳо дар микроэлектроника истифода карда мешавад. Пайвастиҳои индӣ дар техникаи электронӣ васеъ истифода мешаванд: нимноқилҳо, транзисторҳои баланд ва пастҳарорат, термисторҳо, детекторҳои инфрасурх, ҳисобкунакҳои пезоэлектрикӣ ва ғайра. Дар саноати нимноқилҳо индӣ барои легиронии германий дар транзисторҳо ва диодҳо ҳангоми сохтани p-n-p гузаришҳо ва асосҳои коллектори элемент истифодаи худро ёфтааст [1-2].

Арсениди индӣ нимноқилест, ки гази электронии таназзулшуда дорад, яъне доимии Холл ва гузаронандагии электрикии он дар доираи васеи ҳарорат амалан тағйир намеёбад. Ин хосиятҳо онро маводди хеле пураарзиш барои генераторҳои Холл мегардонад, ки дар ҷен кардани қувваи майдонҳои магнитӣ, ҷен кардани ҷараёнҳои бузурги мустақим ва ғайра истифода мешаванд. InAs, инчунин, барои истеҳсоли детекторҳои инфрасурх, генераторҳои термоэлектрикӣ ва ғайра истифода мешавад. Антимониди индӣ аз ҷиҳати хосият ба германий ва силитсий монанд аст. Аз миёнаҳои солҳои 50-ум он ҳамчун детектори дарозии мавҷ, сенсорҳои эффекти Холл, қабулкунакҳои радиатсияи инфрасурх, филтрҳои рушноӣ ва ғайра васеъ истифода мешуд. Бартариҳои хеле муҳими антимониди индӣ дар

он аст, ки технологияи истеҳсоли он нисбат ба аналогҳои он содатар аст. Ин яке аз нимноқилҳои аз ҳама хуб омӯхташуда мебошад.

Дар ҳарорати нисбатан паст индӣй метавонад рӯйпӯшҳои тобоварро бо хосиятҳои муҳофизатӣ ва ороишӣ ташкил диҳад. Никелпушкунӣ ва хромпушкунӣ металлҳоро бо индӣйгардонӣ иваз кардан мумкин аст. Рӯйпӯшкунӣ индӣй ва хӯлаҳои он бо кадмӣй, руҳ, таллий бо роҳи электрохимиявӣ молидан ва бо усулҳои дигар амалӣ карда мешавад. Пулоди бо индӣй рӯйпӯшшуда барои кашидани алюминӣй мӯҳлати хизмати онро 50% зиёд мекунад. Чихати беҳтар кардани алоқа ва муқовимат ба фарсудашавӣ нӯғҳои тамоси коммутаторҳо, шёткаҳои графитӣ ва ғайра бо индӣй пӯшонӣда мешаванд. Подшипникҳое, ки индӣй-мис, сурб-нуқра-индӣй, индӣй-руҳ ва дигар рӯйкашҳо доранд, мӯҳлати хизматрасониро 5 баробар зиёд мекунанд.

Хӯлаҳо барои амалияи дандонпизишкӣ бо истифода аз индӣй ҳамчун компонент аз соли 1934 маълуманд. Бо иловаи хурди аз 0,5 то 5% индӣй ба маводди пуркунии дандон хосияти ба коррозия устовриаш меафзояд, сахтӣ ва пломбаҳо тира намешаванд.

Мавҷудияти индӣй дар хӯлаҳои тиллоӣ барои протезҳо нуқтаи ғудохташавӣи хӯлаҳоро хеле паст карда, имкон медиҳад, ки миқдори зиёди мис истифода шавад. Индӣй миси таркиби хӯларо аз оксидшавӣ муҳофизат мекунад ва сифати протезҳоро беҳтар мекунад. Хӯлаҳои пешниҳодшудаи дандонпизишкӣ дорои миқдори хеле ками тилло (6-15%), (0-45%) ва умуман тилло надоранд, дар асоси нуқра (65-70%) ва дорои миқдори баланди индӣй (22-26%) мебошанд.

Дар истеҳсолоти заргарӣ индӣй дар шакли хӯлаҳо бо платиноидҳо ва металлҳои нодир истифода мешавад, ки ба онҳо сахтӣ, мустаҳкамӣ ва намуди хуби ороишӣ медиҳад. «Тиллои сабз»-и машҳур - хӯлаи 75% тилло, 20% нуқра ва 5% индӣй мебошад. Илова намудани индӣй ба тилло сахтии маҳсулотро хеле зиёд мекунад (то 1,60-1,70 ГПа). Барои баланд бардоштани мустаҳкамӣ ва сахтӣ, масалан, хӯлаи асосаш тилло, индӣй ба таври иловагӣ ворид карда мешавад. Барои иваз кардани тилло дар маҳсулот як қатор

хӯллаҳои индӣ таҳия карда шудаанд. Хӯлаҳои гомогенӣ тилло бо палладӣ ба даст оварда шудаанд, ки ранги тиллоро доранд. Аз ҷиҳати муқовимат ба зангзанӣ, хӯлаҳои Pd-In, ки дар натиҷаи сершавии диффузия аз моеъ ба даст омадаанд, ба талаботи тилло ва хӯлаҳои он мувофиқат мекунад. Хӯлаҳо дар асоси платина ва палладӣ бо доираи васеи рангҳо ва сахтии зиёд ба даст оварда шудаанд.

Индӣ ҳамчун ҷузъи хӯлаҳои металлҳои дар ҳарорати паст гудохташуда (ҳадди гудохтасавӣ аз 420 К пасттар) васеъ истифода мешавад. Тақрибан 50 намуди хӯлаҳои дорой индӣ бо нуқтаи гудохтасавӣ аз 284 К (62,50% галий + 21,50% индӣ + 16% калий) то 587 К (95% сурб + 5% индӣ) маълуманд. Бо илова кардани руҳ ё нуқра ба хӯлаи сегонаи муайяншуда нуқтаи гудохтасавии эвтектика метавонад зиёда аз як дараҷа кам карда шавад.

1.2. Баҳодиҳии дараҷаи омӯзиши системаҳои дучандаи индӣ бо элементҳои чадвали даврии Д.И. Менделеев

Натиҷаи омӯзиши системаҳои дучандаи индӣ бо элементҳои ЧД ва сохтани ДХ-ии онҳо дар як қатор монографияҳо ва адабиёт оварда шудаанд [1, 8-19]. Аммо аз ҷониби мо бо истифода аз адабиёти номбурда таҳлил гузаронида шуда, дар натиҷа маълумотҳоро оид ба таҳқиқоти системаҳои таъсири индӣ бо элементҳои ЧД дар чадвали 1.3 муттаҳид намудем.

Чадвали 1.3. –Натиҷаҳои таҳлили таъсири индӣ бо элементҳои чадвали даврий

Элемент	ДХ сохта шудааст	Шакли Таъсиркунӣ	Дар ҳароратӣ, К, ҳалшавандагӣ, ат. %		Ҳангоми кристаллизатсия пайвастагиҳо ба вучуд меоянд	Шакли сохторӣ
			Элемент дар In	In дар элемент		
1	2	3	4	5	6	7
Элементҳои гурӯҳи I A						
1	2	3	4	5	6	7
Li	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	452-1,5	Маълумот нест	InLi In ₃ Li ₁₃ InLi ₂ In ₂ Li ₃ In ₄ Li ₅	NaTl In ₃ Li ₁₃ LaLi ₂ Bi ₂ Te ₃ La ₄ Li ₅

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Na	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	433-2,5	369-0,4	In ₈ Na ₅ InNa InNa ₃	- NaTl
K	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	In ₃₉ K ₂₂ In ₄ K	- Al ₄ Ba
Rb	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, монотектикӣ, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	In ₄ Rb In ₃ Rb ₂ In ₅ Rb ₄	Al ₄ Ba In ₃ Cs ₂ -
Cs	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, монотектикӣ, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	Cs ₂ In ₃ CsIn ₄	- -
Fr	Маълумот нест					
Элементҳои гурӯҳи II A						
Be	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, монотектика ва эвтектика	Маълумот нест	Маълумот нест	-	-
Mg	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектоид, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	433-2,0	757-19,4 600-18,7	β' β'' γ'	Cu ₃ Au CuAu Cu ₃ Au
Ca	+	Эвтектика, перитектика ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	Ca ₃ In CaIn CaIn ₂	- CsCl CaIn ₂
Sr	+	Эвтектика, перитектика ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	SrIn ₅ SrIn ₃ Sr ₂ In ₅ SrIn ₂ Sr ₂ In ₃ SrIn Sr ₅ In ₃ Sr ₃ In	- SnNi ₃ - CaIn ₂ - - Cr ₅ B ₃ -
Ba	+	Эвтектика, перитектика ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	BaIn ₄ BaIn ₂ BaIn αBa ₂ In Ba ₃ In Ba ₁₃ In	BaAl ₄ CeCu ₂ - - - -

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Ra		Маълумот нест				
Элементҳои гурӯҳи III A						
Sc	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1373-14	Sc ₃ In Sc ₂ In Sc ₅ In ₃ ScIn Sc ₃ In ₅ ScIn ₃	Mg ₃ Cd Ni ₂ In - - - AuCu ₃
Y	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1303-8	Y ₅ In ₃ Y ₃ In ₅ YIn ₃ Y ₂ In YIn	Mn ₅ Si ₃ Pd ₃ Pu ₅ AuCu ₃ Ni ₂ In CsCl
La	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	745-10	La ₃ In La ₂ In LaIn ₂ LaIn ₃ La ₃ In ₅ LaIn	AuCu ₃ InNi ₂ Hg ₂ K AuCu ₃ Pd ₅ Pu ₃ CsCl
Ce	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	923≈3	Ce ₃ In Ce ₂ In Ce ₃ In ₅ CeIn ₂ CeIn ₃	Cu ₂ Au Ni ₂ In Pu ₃ Pd ₅ CeCu ₂ AuCu ₃
Pr	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	Pr ₃ In Pr ₂ In PrIn Pr ₃ In ₅ PrIn ₃	AuCu ₃ InNi ₂ CsCl Pd ₅ Pu ₃ AuCu ₃
Nd	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1013-10	In ₃ Nd In ₅ Nd ₃ InNd InNd ₂ InNd ₃	AuCu ₃ Pd ₅ Pu ₃ - InNi ₂ AuCu ₃
Pm	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	998≈4,0	Pm ₃ In Pm ₂ In PmIn Pm ₃ In ₅ PmIn ₃	- - - - -

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Sm	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1073-5,0	SmIn ₃ Sm ₃ In ₅ SmIn Sm ₂ In Sm ₃ In	AuCu ₃ Pd ₅ Pu ₃ CsCl Ni ₂ In AuCu ₃
Eu	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	EuIn EuIn ₂ Eu ₂ In EuIn ₄	- CaIn ₂ - -
Gd	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1193-5,0	Gd ₂ In GdIn Gd ₃ In ₅ GdIn ₃ Gd ₅ In ₃	Ni ₂ In CsCl Pu ₃ Pd ₅ AuCu ₃ W ₅ Si ₃
Tb	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1243-10,0	TbIn ₃ Tb ₃ In ₅ TbIn Tb ₂ In Tb ₅ In ₃	AuCu ₃ Pd ₅ Pu ₃ - Ni ₂ In W ₅ Si ₃
Dy	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1273-8	Dy ₂ In DyIn Dy ₃ In ₅ DyIn ₃ Dy ₅ In ₃	Ni ₂ In - - - W ₅ Si ₃
Ho	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1293-8	Ho ₂ In HoIn Ho ₃ In ₅ HoIn ₃ Ho ₅ In ₃	Ni ₂ In - Pu ₃ Pd ₅ AuCu ₃ Mn ₅ In ₃
Er	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1413-11	Er ₅ In ₃ Er ₃ In ₅ ErIn ₃ Er ₂ In ErIn	- - AuCu ₃ Ni ₂ In -
Tm	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1393-10	TmIn ₃ Tm ₃ In ₅ Tm ₅ In ₃ TmIn Tm ₂ In	AuCu ₃ - Si ₃ Mn ₅ CsCl Ni ₂ In
Yb	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1023-3,0	YbIn ₂ YbIn Yb ₅ In ₂ Yb ₂ In YbIn ₃	CaIn ₂ CsCl - Co ₂ Si AuCu ₃

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Lu	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1573-12	In ₃ Lu In ₅ Lu ₃ In ₃ Lu ₅ InLu ₂ InLu	AuCu ₃ - Si ₃ Mn ₅ - InNi ₂
Ac	Маълумот нест					
Th	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1368~10	In ₃ Th In ₅ Th ₃ InTh InTh ₂	AuCu ₃ Pd ₅ Pu ₃ InTh CuAl ₂
Pa	Маълумот нест					
U	-	Пайвастшавӣ	Маълумот нест		In ₃ U	In ₃ U
Np	Маълумот нест					
Pu	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ, перитектоид ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	800-2,0	PuIn PuIn ₃ Pu ₃ In Pu ₃ In ₅	AuCu AuCu ₃ - AuCu ₃
Am	Маълумот нест					
Cm	Маълумот нест					
Bk	Маълумот нест					
Cf	Маълумот нест					
Es	Маълумот нест					
Fm	Маълумот нест					
Md	Маълумот нест					
No	Маълумот нест					
Lr	Маълумот нест					
Элементҳои гурӯҳи IV A						
Ti	Қисман +	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1123-10	Ti ₃ In Ti ₃ In ₄	Ni ₃ Sn -
Zr	Қисман +	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1276~10	ZrIn ₃ ZrIn ₂ ZrIn Zr ₂ In	AuCu ₃ HfGa ₂ Cu
Hf	-	Пайвастшавӣ	Маълумот нест	Маълумот нест	Hf ₃ In ₄	Ti ₃ In ₄
Элементҳои гурӯҳи V A						
V	+	Маҳдудияти маҳлулҳои сахт, монотектика	Маълумот нест	2150-6,5	-	-

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Nb	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастишавӣ	Маълумот нест	Маълумот нест	Nb ₃ In	βW
Ta	-	Ташаккули маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд тахмин карда мешавад	Маълумот нест	Маълумот нест	-	-
Элементҳои гурӯҳи VI A						
Cr	-	Ташаккули маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, монотектика ва пайвастигиҳо тахмин карда мешавад	Маълумот нест	Маълумот нест	CrIn ₂ CrIn ₃ Cr ₂ In Cr ₃ In	- - - -
Mo	-	Муқаррар карда нашудааст	Маълумот нест	Маълумот нест	He	-
W	Маълумот нест					
Элементҳои гурӯҳи VII A						
Mn	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастигиҳо	Маълумот нест	908~4,0	InMn ₃	Cu ₅ Zn ₈
Tc	Маълумот нест					
Re	Маълумот нест					
Элементҳои гурӯҳи VIII A						
Fe	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, кататектикӣ, монотектикӣ, перитектикӣ	Маълумот нест	1193-0,5	He	-
Ru	-	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд ва пайвастигиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	RuIn ₃ Ru ₃ In	CoGa ₃
Os	-	Ташаккули пайвастигиҳо дар назар аст	Маълумот нест	Маълумот нест	In ₂ Os In ₃ Os InOs InOs ₂	- - - -
Co	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, монотектикӣ, перитектикӣ ва пайвастигиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	CoIn ₂ CoIn ₃	CuMg ₂ CoGa ₃

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Rh	–	Ташаккули маҳлулҳои маҳдуди сахт, монотектика ва пайвастагиҳо тахмин карда мешавад	Маълумот нест	Маълумот нест	In ₃ Rh InRh	CoGa ₃ CsCl
Ir	–	Ба вучуд омадани маҳлулҳои саҳти хеле маҳдуд, монотектика, перитекттика ва пайвастагиҳо тахмин карда мешавад	Маълумот нест	Маълумот нест	InIr ₃ In ₃ Ir ₂	CoGa ₃ -
Ni	+	Маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1183-14,5	Ni ₃ In Ni ₂ In NiIn Ni ₂ In ₃ Ni ₃ In ₇	Ni ₃ Sn Ni ₂ In CoSn Ni ₂ Al ₃ Cu ₅ Zn ₈
Pd	+	Маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1638-20	Pd ₂ In PdIn Pd ₃ In Pd ₂ In ₃ PdIn ₃ Pd ₅ In ₃	Co ₂ Si CsCl - Ni ₂ Al ₃ Cu ₅ Zn ₈ Rh ₅ Ge ₃
Pt	+	Маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	1731-11	Pt ₃ In Pt ₂ In Pt ₃ In ₂ Pt ₅ In ₆ PtIn Pt ₂ In ₃ PtIn ₂ Pt ₃ In ₇	Cu ₃ Au Pt ₅ Ga ₃ Pt ₃ Tl ₂ - - Al ₃ Ni ₂ CaF ₂ Ir ₂ Sn ₇
Элементҳои гурӯҳи I Б						
Cu	+	Маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ, перитектоид ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	983≈10	β* γ** δ	W Cu ₅ Zn ₈ Cu ₇ In ₃
					η Cu ₁₁ In ₉	NiAs AuCu
Ag	+	Маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ, перитектоидӣ, кататектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	963-20	γ ε-Ag ₂ In	- -

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Au	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ, перитектоидҳо ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	953-12,7	α_1 ζ β^* β_1 ε^{**} ε' γ γ'^* φ AuIn*** AuIn ₂	Ni ₃ Ti Mg Cu _{4.5} Sb Cu _{3.3} Sb - β Cu ₃ Ti Al ₄ Cu ₉ Au ₇ In ₃ Al ₃ Ni ₂ - CaF ₂
Элементҳои гурӯҳи II Б						
Zn	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд ва эвтектика	416 \approx 2,0	416-0,12	He	-
Cd	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	400-18,0	400-1,4	β -InCd ₃	-
Hg	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	381-7,0	-311,9 \approx 0,5	Hg ₆ In Hg ₄ In HgIn HgIn ₁₁	- γ Pu HgIn -
Элементҳои гурӯҳи III Б						
B	-	Тахмин карда шуд, ки ҳеҷ гуна муносибат вучуд надорад	Маълумот нест	Маълумот нест	He	-
Al	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ ва монотектикӣ	Маълумот нест	912 \approx 0,1	He	-
Ga	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд ва эвтектика	288-2,2	288-0,3	He	-
Tl	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, перитектикӣ ва перитектоид	428-18,0	303-12,5	He	-
Элементҳои гурӯҳи IV Б						
C	Маълумот нест					
Si	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд ва эвтектика	Маълумот нест	1600-0,004	He	-
Ge	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд ва эвтектика	Маълумот нест	Маълумот нест	He	-

<i>Идомаи ҷадвали 1.3</i>						
1	2	3	4	5	6	7
Sn	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, перитектикӣ, эвтектикӣ ва пайвастагиҳо	413-11,5	463-6,5	β γ	- -
Pb	+	Маҳлулҳои сахти бемаҳдуд ва перитектикӣ	432-11,7	Маълумот нест	He	-
Элементҳои гурӯҳи V Б						
N	-	Пайвастшавӣ	Маълумот нест		InN	ZnS
P	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ ва пайвастагиҳо	-429-0,003	Маълумот нест	InP	NaCl
As	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ ва пайвастагиҳо	1004-0,031	Маълумот нест	InAs	ZnS
Sb	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	InSb	βSn
Bi	+	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ, перитектоидҳо ва пайвастагиҳо	322-7,5	382-0,01	BiIn ₂ Bi ₃ In ₅ BiIn α ₁ γ γ ₁ γ ₂ χ β	Ni ₂ In Cr ₃ B ₅ PbO - HgSn ₆₋₁₀ - - - βSn
Элементҳои гурӯҳи VI Б						
O	-	Пайвастшавӣ	Маълумот нест		In ₂ O InO In ₂ O ₃	- - Mn ₂ O ₃
S	Қисман +	Маҳлулҳои сахти маҳдуд, эвтектикӣ, монотектикӣ ва пайвастагиҳо	Маълумот нест	Маълумот нест	InS In ₆ S ₇ In ₅ S ₆ In ₄ S ₅ In ₃ S ₄ In ₂ S ₃ In ₃ S ₅	- - - - - - -
Se	+	Маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ,	Маълумот нест	Маълумот нест	In ₂ Se InSe In ₅ Se ₆ In ₂ Se ₃	- - - -

<i>Хотимаи ҷадвали 1.3</i>						
	2	3	4	5	6	7
		перитектоидӣ, монотектикӣ пайвастагиҳо				
Te	+	Маҳлулҳои саҳти хеле маҳдуд, эвтектикӣ, перитектикӣ, перитектоидӣ, монотектика пайвастагиҳо	433-0,4	Маълумот нест	InTe In ₂ Te ₃ In ₂ Te In ₃ Te ₄ In ₃ Te ₅ In ₂ Te ₅	TlSe ZnS - - - -
Po	Маълумот нест					

Ҳангоми баррасии таъсири мутақобилаи индӣ бо элементҳои гурӯҳи IA-и ҶД (Li, Na, K, Rb ва Cs) маълум шуд, ки бо онҳо намудҳои мураккаби диаграммаҳои ҳолатро ба вуҷуд меоваранд, ки бо мавҷудияти минтақаҳои маҳдуди маҳлулҳои саҳт, мувозинати эвтектикӣ ва перитектикӣ, ки дар онҳо омехтаҳои механикӣ, пайвастагиҳои химиявӣ конгруэнтӣ ва инконгруэнтӣ хос аст. Ҳалшавии мутақобилаи компонентҳо дар ҳамдигар дар ин системаҳо, ба истиснои системаҳои индӣ бо литий ва натрий муқаррар карда нашудааст. Илова бар ин, намудҳои боҳамтаъсиркунӣ дар системаҳои дучандаи индӣ бо калий ва рубидий табилооти монотектикӣ пайдо шудааст. Дар бораи системаи франсий бо индӣ ягон маълумот пайдо карда нашуд.

Дар силсилаи металлҳои навъи гурӯҳи IIА ҶД бериллий бо хусусияти хоси худаш фарқ мекунад, ки намуди монотектикий таъсири мутақобила бо индӣро бидуни пайвастагиҳои химиявӣ ташкил медиҳад. Аз тарафи дигар, индӣ бо магний дар ҳолати саҳтӣ як маҳлули хеле васеъро ташкил медиҳад, ки координатҳои максималии онҳо аллакай ба таври таҷрибавӣ муқаррар карда шудаанд, инчунин, пайвастагиҳои химиявӣ, ки аз моеъ ё реаксияҳои перитектикӣ кристалл мешаванд ва омехтаи механикӣ бо реаксияи эвтектоидӣ ҳосил карда мешаванд. Бо металлҳои ишқорзаминӣ (МИЗ) (Ca, Sr, Ba) индӣ системаҳои мураккаби эвтектикиро бо пайвастагиҳои химиявӣ ташкил медиҳанд, ки дар онҳо реаксияҳои перитектикӣ мушоҳида мешаванд. Ҳалшавии мутақобилаи компонентҳои ин системаҳо дар ҳамдигар дар ҳолати саҳт муқаррар карда нашудааст. Дар бораи таъсири мутақобилаи индӣ бо радий маълумот пайдо карда нашуд.

Гурӯҳи калонро гурӯҳи IIIA-и ЧД, ки элементҳои як қатор металлҳои гузаранда (МГ)-ро (лантаноидҳо ва актиноидҳо) дар бар мегирад, бо онҳо индӣи характери якхелаи боҳамтаъсиркуниро ҳангоми кристаллизатсия ташкил медиҳад. Масалан, дар системаҳои дучандаи индӣи бо Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th ва Pu, минтақаҳои нисбатан васеи маҳлулҳои саҳти маҳдуд, омехтаҳои механикӣ, ки бо реаксияҳои эвтектикӣ ва эвтектоидӣ кристаллизатсия мешаванд, пайвастагиҳои химиявӣ дар ҳарорати конгруэнтӣ ва инконгруэнтӣ гудохта мешаванд. Дар ин системаҳо ҳалшавандагии максималии индӣи дар лантаноидҳо ва актиноидҳо дар ҳолати саҳт ба таври таҷрибавӣ муқаррар карда шудааст, аммо координатҳои ҳалшавандагии мутақобилаи элементҳо дар индӣи дастрас нестанд. Сарфи назар аз шабоҳати бузург дар системаҳои In-Pr, In-Eu ва In-Th хусусияти то андозае гуногунии таъсири мутақобила мушоҳида мешавад, ки дар онҳо омехтаҳои механикии эвтектоидҳо ташаккул намеёбанд ва ҳалшавандагии мутақобилаи компонентҳо дар ҳолати саҳтӣ барои системаҳои In-Pr ва In-Eu вучуд надоранд. Бо аксарияти актиноидҳо, ки ба онҳо Ac, Pa, Np, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No ва Lr дохил мешаванд, таъсири мутақобилаи индӣи омӯхта нашудааст ва дар бораи он маълумот пайдо карда нашудааст. Дар бораи таъсири мутақобилаи индӣи бо уран маълумоти зарурӣ нест, ки онҳоро метавон барои ба вучуд омадани як пайвастагии химиявӣ дар ин система мулоҳиза кард.

Диаграммаҳои ҳолати дучандаи индӣи бо элементҳои гурӯҳи IVA титан ва сирконий қисман сохта шудаанд, ки ҳамин тавр дар онҳо минтақаҳои маҳдуди ҳалшавандагӣ дар ҳолати саҳти индӣи дар титан ва сирконий мутаносибан реаксияҳои эвтектикӣ ва перитектикӣ ва як қатор пайвастагиҳои химиявӣ муайян карда шудаанд. Ҳалшавандагии элементҳо дар индӣи дар ҳолати саҳтӣ муқаррар карда нашудааст. Системаи индӣи-гафний пурра омӯхта нашудааст, барои он як пайвастагии химиявӣ ошкор карда шудааст.

Дар системаҳои индӣ бо металлҳои гурӯҳи VA ҚД, ванадий ва ниобӣ маҳдудшавиҳо дар ҳолати сахтӣ мушоҳида мешаванд, ки координатаҳои онҳо танҳо барои индӣ дар ванадий муайян карда мешаванд. Дар баробари ин, дар системаи In-V як намуди монотектикии таъсири мутақобила бидуни ташаккули пайвастиҳои химиявӣ вучуд дорад. Ниобӣ бо индӣ то андозае таъсир карда, бо он ҳангоми кристаллизатсия тавассути реаксияҳои эвтектикӣ ва эвтектоидӣ, перитектикӣ ва як пайвастиҳои химиявӣ омехтаҳои механикӣ ба вучуд меорад. Дар системаи In-Ta, ташаккули хеле маҳдуди ҳалшавандагии компонентҳо дар ҳамдигар ҳангоми кристаллизатсия пешбинӣ шудааст. Дигар маълумот дар бораи ин система пайдо карда нашуд.

Системаҳои индӣ бо гурӯҳи VI A ҚД металлҳои хром, молибден ва волфрам пурра омӯхта нашудаанд. Бо хром, индӣ эҳтимолан як намуди монотектикии мутақобиларо ташкил диҳанд. Аммо дар ин система, чор пайвастиҳои химиявӣ ҳангоми синтез муқаррар карда мешаванд. Барои системаи In-Mo муайян кардани ягон намуди мутақобила ғайриимкон буд ва таъсири мутақобилаи индӣ бо волфрам, эҳтимолан, омӯхта нашудааст.

Ба элементҳои гурӯҳи VII A ҚД Mn, Tc ва Re дохил мешаванд, ки дар бораи таъсири мутақобилаи индӣ бо дутои охирини онҳо дар адабиёт маълумот ёфт нашуд. Бо манган, индӣ ҳалшавандагии маҳдуд, омехтаҳои механикӣ тавассути реаксияҳои эвтектикӣ ва эвтектоидӣ ва як пайвастиҳои химиявӣ бо реаксияи перитектикӣ ба вучуд меорад. Координатҳои максималии ҳалшавандагии индӣ дар манган муқаррар карда шудаанд, аммо манган дар индӣ муқаррар карда нашудааст.

Индӣ бо металлҳои гурӯҳи VIII A ҚД Fe, Co, Ni, Pd ва Pt низ хусусияти шабеҳи таъсири мутақобила дорад, ки дар мавҷудияти ҳалшавандагии маҳдуд дар ҳолати сахтӣ, омехтаҳои механикӣ, ки дар натиҷаи реаксияи эвтектикӣ, перитектика ва пайвастиҳои химиявӣ дар ҳамаи ин системаҳо ба вучуд меоянд, ифода мешавад. Танҳо дар системаи In-Fe пайвастиҳои химиявӣ пайдо нашудаанд, аммо дар байни ин компонентҳо реаксияҳои монотектикӣ ва кататектикӣ мавҷуданд.

Координатҳои ҳадди ҳалшавандагӣ дар ҳолати сахтӣ танҳо барои индӣ дар ин элементҳо муқаррар карда шудаанд, дар ҳоле ки дар индӣ (ҳадди ҳалшавандагӣ)-и ин металлҳо вуҷуд надоранд. Инчунин, системаи In-Co бо мавҷудияти соҳаи хурди мувозинати монотектикӣ тавсиф карда мешавад. Системаҳои индӣ бо Ru, Os, Rh ва Ir кам омӯхта шудаанд. Онҳо дорой якчанд пайвастагиҳои химиявӣ мебошанд. Тахмин карда мешавад, ки ин элементҳо дар ҳолати сахтӣ дар ҳамдигар ба андозаи маҳдуд ҳал мешаванд ва як намуди монотектикий таъсирро ташкил медиҳанд. Инчунин, муҳаққиқон мавҷудияти реаксияҳои перитектикиро дар онҳо истисно намеkunанд.

Хусусияти ҷолиби таъсири мутақобила байни системаҳои пурра омӯхташудаи индӣро бо металлҳои гурӯҳи I В ЧД мис, тилло ва нуқра мушоҳида кардан мумкин аст, ки дар онҳо минтақаҳои нисбатан васеи маҳлулҳои саҳти маҳдуд, эвтектикӣ, эвтектоидӣ (барои системаи In-Cu), перитектикӣ ва мувозинати перитектоидҳо, инчунин, якчанд марҳилаҳои мобайнӣ мавҷуданд. Дар системаи In-Ag ҳангоми кристаллизатсия ҳатто реаксияи кататектикӣ вуҷуд дорад. Ҳалшавии ҳадди аксар дар ҳолати сахтӣ танҳо барои индӣ дар ин металлҳо муқаррар карда шудааст.

Индӣ бо элементҳои гурӯҳи II В-и ЧД руҳ системаи оддии эвтектикиро бе пайвастагиҳои химиявӣ бо ҳосил шудани маҳлулҳои маҳдуд ҳалшаванда ҳангоми кристаллизатсия ташкил медиҳад. Аъзои боқимондаи ин гурӯҳ - кадмий ва симоб ҳангоми боҳамтаъсиркунӣ бо индӣ бо он дар ҳолати сахтӣ дар ҳамдигар ҳал шуда, дар натиҷа омехтаи механикӣ аз рӯи реаксияҳои эвтектикӣ, пайвастагиҳои химиявӣ ва перитектика ҳосил меkunанд. Координатҳои максималии ҳалшавандагии байни ҳамдигарии компонентҳо дар системаҳои In-Zn, In-Cd ва In-Hg муқаррар карда шудаанд.

Бо элементҳои гурӯҳи III В ЧД бор, алюминий, галлий ва таллий индӣ чандон фаъолият нишон намедиҳад ва диаграммаҳои ҳолатро бе пайвастагиҳои химиявӣ ташкил медиҳад. Системаи индӣ бо бор пурра омӯхта нашудааст ва дар он набудани пурраи таъсири мутақобилаи компонентҳо пешбинӣ шудааст. Навъи монотектикӣ дар системаи индӣ-

алюминий пайдо мешавад, ки дар он ҷо, инчунин, дар ҳолати сахтӣ бо мувозинати эвтектикӣ ҳалшавандагии маҳдуд мавҷуд аст. Бо галлий индий системаи оддии эвтектикиро бо ҳалшавандагии маҳдуди компонентҳо дар ҳолати сахт ташкил медиҳад ва дар системаи In-Tl дар баробари маҳлулҳои сахти маҳдуд реаксияҳои перитектикӣ ва перитектоидӣ ба амал меоянд. Координатҳои ҳалшавандагии мутақобилаи компонентҳо дар ҳамдигар дар ҳолати сахтӣ барои системаҳои In-Ga ва In-Tl муқаррар карда шудаанд, аммо барои ду системаи дигар не.

Ба гурӯҳи I V В ҚД С, Si, Ge, Sn ва Pb дохил мешаванд. Дар бораи таъсири мутақобилаи карбон бо индий ягон маълумот ёфт нашуд. Дар системаҳои дучандаи индий бо силитсий ва германий мувозинати оддии эвтектикӣ бо доираи хеле маҳдуди маҳлулҳои сахт мушоҳида мешавад. Қалъагӣ бо индий минтақаҳои васеътари маҳлулҳои сахт, омехтаи механикӣ, фазаҳои перитектикӣ ва мобайниро ташкил медиҳанд. Аммо бо сурб, индий ҳангоми таҷзияи ин маҳлулҳо маҳлулҳои бемаҳдуди сахт ва реаксияҳои перитектикиро ба вуҷуд меорад. Координатҳои максималии ҳалшавандагии компонентҳо дар ҳамдигар дар ҳолати сахтӣ барои ҳар ду компонент танҳо дар системаи In-Sn муқаррар карда шудаанд, дар системаҳои дахлдор ҳалшавандагии индий дар силитсий ва сурб дар индий муайян шудааст.

Индий бо элементҳои гурӯҳи V В-и ҚД (P, As, Sb, Bi) диаграммаҳои ҳолатро бо пайвастагиҳои химиявӣ (фазаҳои мобайнӣ дар системаи In-Bi) ташкил медиҳад. Дар системаҳои In-P, In-As ва In-Sb маҳлулҳои сахти хеле маҳдуд ва трансформатсияҳои эвтектикӣ (ҷамъи перитектикӣ барои системаи In-P) муқаррар карда шудаанд. Системаи In-Bi бо мавҷудияти минтақаҳои нисбатан васеи маҳлулҳои сахти маҳдуд, мувозинати эвтектикӣ, перитектикӣ ва перитектоидӣ ва миқдори зиёди (тақрибан 10) пайвастагиҳои химиявӣ (фазаҳои мобайнӣ) хос аст.

Координатҳои максималии ҳалшавандагии ҳар ду компонент дар ҳолати сахтӣ танҳо барои системаи индий-висмут ва барои системаҳои индий-фосфор ва индий-арсен танҳо аз тарафи индий муайян карда

мешаванд. Таъсири мутақобилаи индий бо нитроген ба таври кофӣ омӯхта нашудааст ва дар байни онҳо танҳо як пайвастагии химиявӣ пайдо шудааст.

Элементҳои гурӯҳи VI В-и ҶД оксиген, сулфур, селен ва теллур бо индий ба ҳамдигар таъсир карда, пайвастагиҳои химиявиро ташкил медиҳанд. Системаи индий-оксиген кам омӯхта шудааст, бинобар ин ДХ-и он сохта нашудааст. Дар системаҳои индий-Элемент (In-Э) (S, Se, Te) маҳлулҳои маҳдуди саҳт, эвтектикӣ (эвтектоидӣ, перитектикӣ, перитектоидӣ барои системаҳои дучандаи индий бо селен ва теллур) ва мувозинати монотектикӣ муқаррар карда мешаванд. Координатҳои максималии ҳалшавандагӣ дар ҳолати саҳтӣ танҳо барои теллур дар индий муайян карда шудаанд, дар ҳоле ки барои дигар системаҳои ин гурӯҳ ҳеҷ маълумоте вуҷуд надорад. Дар бораи таъсири мутақобилаи индий бо полоний маълумоте ёфт нашуд.

1.3. Баҳодиҳии навъҳои таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои чадвали даврии Д.И. Менделеев

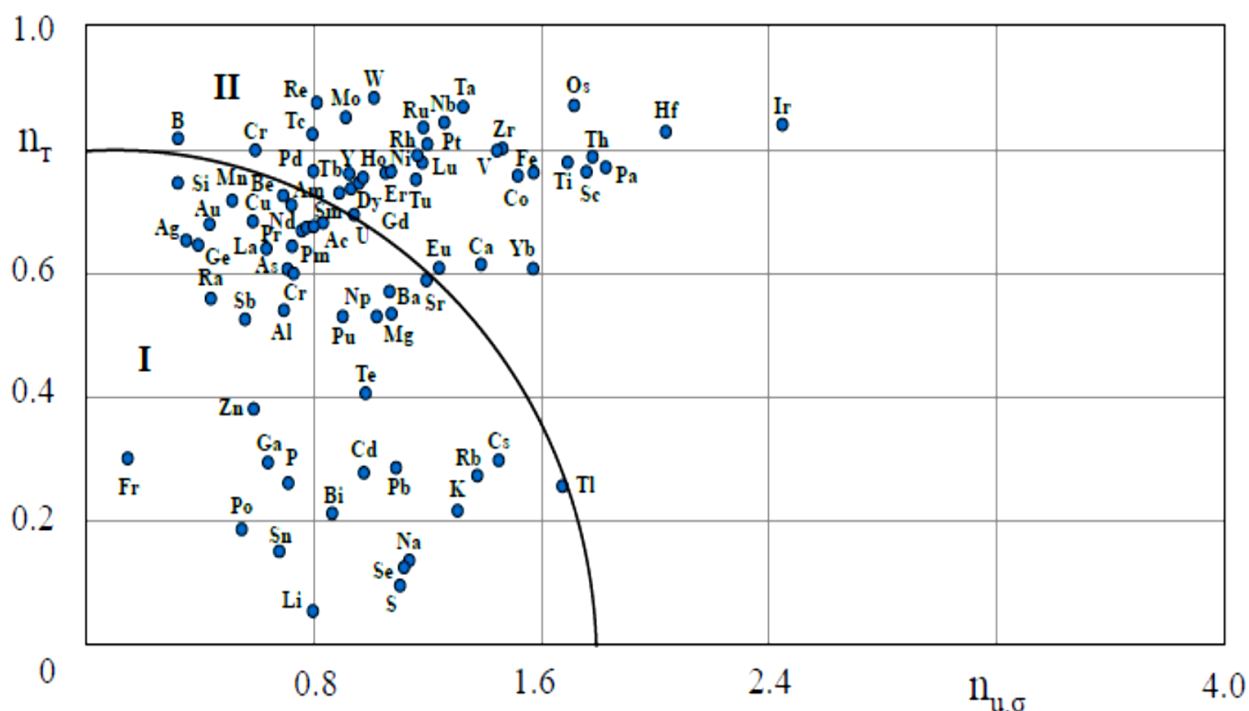
Тибқи назарияи ҳулаҳои металлӣ маълум аст [20-46], ки ба намуди диаграммаи гудохта омилҳои металлохимиявӣ аз мавқеи элементҳо дар ҶД вобастаанд [47]. Ба омилҳои металлохимиявӣ конфигуратсияи электронии металлҳо, дараҷаи оксидшавӣ, диаметри атом, электроманфиат, потенциали ионизатсионӣ, гармии атомизатсия, энтропияи гузаришҳои фазавӣ, ҳароратҳои гудозиш ва ҷӯшиш, коэффитсиенти фишурдани ҳамачониба, навъи панҷараҳои кристаллӣ ва ғайра дохил мешаванд. Ин хусусиятҳо дар алоҳидагӣ барои муайян кардани хосиятҳо ва баҳодиҳии таъсири мутақобилаи компонентҳо кофӣ набуда, бо ҳам алоқаманданд.

Дар кори диссертатсионӣ омилҳои металлохимиявӣ ба назар гирифта шудаанд, ки намудҳои боҳамтаъсиркунии ҳулаҳои индиро ҳангоми омехташавӣ ё омехта нашудан, дар ҳолати моеъ; ҳалшавандагии металлҳо бо ҳамдигар дар ҳолати саҳтӣ; ташаккули марҳилаҳои мобайнӣ ва ташаккули нуқтаҳои табдили нонвариантӣ маънидод менамоянд.

Пешгӯии таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ЧД дар ҳолати моеъ.

Шарти зарурии омӯзиши таъсири мутақобилаи компонентҳо дар ҳолати моеъ, пеш аз ҳама, пайдоиши маҳлулҳои моеъ ё омехта набудан ҳангоми гудохташавӣ мебошад. Дар ин маврид меъёри В. М. Воздвиженский [42] истифода мешавад, ки дар он қиматҳои энергияи сатҳии (σ_i) элементҳо ба назар гирифта мешаванд. Тамоюли дар ҳолати моеъ омехтанашаванда будани компонентҳо бо афзоиши фарқияти энергияи сатҳи онҳо меафзояд. Ҳангоми баҳодиҳии таъсири мутақобила дар ҳолати моеъ дар ҳулаҳои элементҳои электроманфӣ ва электропозитивӣ, аввал системаҳои дорои пайвастагиҳои устувори байниметаллӣ ҷудо карда мешаванд, ки дар онҳо омехтанашавандагӣ, чун қоида, истисно карда мешавад. Дигар системаҳои ҳулаҳо бо ҳисоби омӯри таҳлил карда мешаванд.

Барои татбиқи ин муқаррарот, мо арзишҳои ҳисобшудаи омили ҳарорат (n_T) ва омили шиддати сатҳ ва потенциали ионизатсияро ($n_{\sigma, u}$) ба даст овардем, то эҳтимолияти омехташавӣ дар ҳолати моеъ дар системаҳои индий бо элементҳои (ниг. ба расми 1.1) ЧД муайян карда шавад.



Расми 1.1. –Графики омили ҳарорат (n_T) ва омехта ($n_{\sigma, u}$) барои системаҳои индий бо элементҳои чадвали Д.И. Менделеев

Қиматҳои омили ҳарорат аз рӯи формулаи (1.1) ҳисоб карда мешаванд:

$$n_T = 1 - T_1 : T_2, \quad (1.1)$$

дар мавриди $T_1 < T_2$, дар ин ҷо T_1 ва T_2 ҳарорати гудозиши компонентҳо мебошанд, К.

Омили шиддати сатҳӣ ва потенциали ионизатсия бо истифода аз муодилаи (1.2) ҳисоб карда шуд:

$$n_{\sigma, u} = (\sigma_1 : \sigma_2) : (U_1 : U_2), \quad (1.2)$$

дар ин ҷо σ - шиддати сатҳии элементҳо ва U - потенциали ионизатсияи онҳост.

Дидан мумкин аст (расми 1.1), ки дар системаҳои дучанда бо элементҳои зерин омехташавӣ дар ҳолати моеъгӣ барои ҳӯлаҳои индӣ мушоҳида карда мешавад, ки онҳо Li, K, Na, Cs, Rb, Ra, Be, Fr, Sr, Ba, Nd, Mg, La, Pm, Pr, Sm, Ce, Ac, Np, Pu, Am, Mn, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Al, Ga, Tl, Si, Ge, Sn, Pb, As, P, Sb, Bi, S, Se, Te ва Po мебошанд. Нуқтаҳои координатаҳои ин элементҳо дар дохили камони эллипс (наздиктар ба марказ) ҷойгир шудаанд, ки бо муодилаи $n_T^2 = 0,37n_{\sigma, u}^2$ тасвир шудааст.

Системаҳои ҷудокунанда, мувофиқи график, системаҳои индӣро дар бар мегиранд: Ca, Gd, Sc, Dy, Y, Eu, Er, Tb, Ho, Tu, Yb, Lu, Th, Nb, Ta, Cr, Mo, Rh, W, Tc, Re, Os, Fe, Ru, Co, Ir, Ni, Pd, Pt ва В. Координатаҳои нуқтаҳои онҳо дар беруни эллипс ҷойгир шудаанд.

Бояд қайд кард, ки барои як қатор системаҳои индӣ бо элементҳои ЧД таъсири мутақобилаи пешбинишуда бо маълумоти таҷрибавӣ қаблан гирифташуда тасдиқ карда мешавад, масалан, барои системаи In-Pb он ба таври таҷрибавӣ муқаррар карда шудааст ва мо аллақай тавассути таҳлили омӯрӣ ташаккули ҳалшавандагии номаҳдудро ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам саҳт тасдиқ кардаем, аммо на барои ҳамаи системаҳо натиҷаҳои пешгӯӣ бо ҳамкориҳои аллақай муқарраршуда мувофиқат мекунанд. Баъзан ин изоморфизм аз набудани намудҳои сохтори компонентҳои иштироккунанда, шабоҳати сохтори атомӣ-кристаллии компонентҳо ё хатоҳои таҷрибавӣ вобаста аст.

Ҳамин тариқ, эътимоднокии якҷоя ба ҳисоб гирифтани меъёрҳои омили ҳарорат (n_T) ва омили шиддатнокии сатҳӣ ва потенциали ионизатсия ($n_{\sigma, u}$) барои муайян кардани эҳтимолияти омехташавӣ дар ҳолати моеъ дар системаҳои дучандаи индӣ бо 92%-и элементҳои ЧД амалӣ мешавад.

Пешгӯии таъсири мутақобилаи индӣ бо элементҳои чадвали даврӣ дар ҳолати сахтӣ.

Мувофиқи ақидаҳои олимони муосир ташаккули маҳлулҳои сахтро се омили муайян мекунад: сохторӣ, андозагирӣ ва электрохимиявӣ [8]. Омили сохторӣ шабоҳат ё фарқиятро дар панҷараи кристаллии элементҳои ба ҳам таъсиркунанда, омили андозагирӣ фарқияти андозаи атомҳоро инъикос мекунад. Омили андоза бо формулаи [21] зерин ҳисоб карда мешавад:

$$n_r = [(d_1 - d_2) / d_1] \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

ки дар ин ҷо d_1 ва d_2 диаметри атомии ҳалкунанда ва элементи ҳалшуда мебошанд.

Омили электрохимиявиро тавассути фарқияти қиматҳои электроманфиати элементҳо ҳисоб кардан мумкин аст. Электроманфиат хосияти элементҳоро инъикос мекунад, ки аз рафтори электронҳои беруна дар атомҳо вобаста аст. Қимати электроманфиат ченаки энергияест, ки барои ҷудо кардани як электрони беруна ва сохтани як пайванд бо атомҳои элементҳои дигар лозим аст. Ба гуфтаи Горди, бузургии электроманфиати элемент (алоқаи эВ) бо формула ифода карда мешавад [8]:

$$E = 0,31 [(n+1) / r] + 0,50, \quad (1.4)$$

ки дар ин ҷо n - шумораи электронҳои валентӣ, r - радиуси атомии элемент аст.

Электроманфиат (E) бо кори баромади электрон (φ) бо муодилаи хаттӣ алоқаманд мебошад:

$$E = 0.44 \varphi - 0,15. \quad (1.5)$$

Шарти асосии ба вучуд омадани маҳлулҳои сахт радиуси хурди атомии элементи ҳалшаванда мебошад.

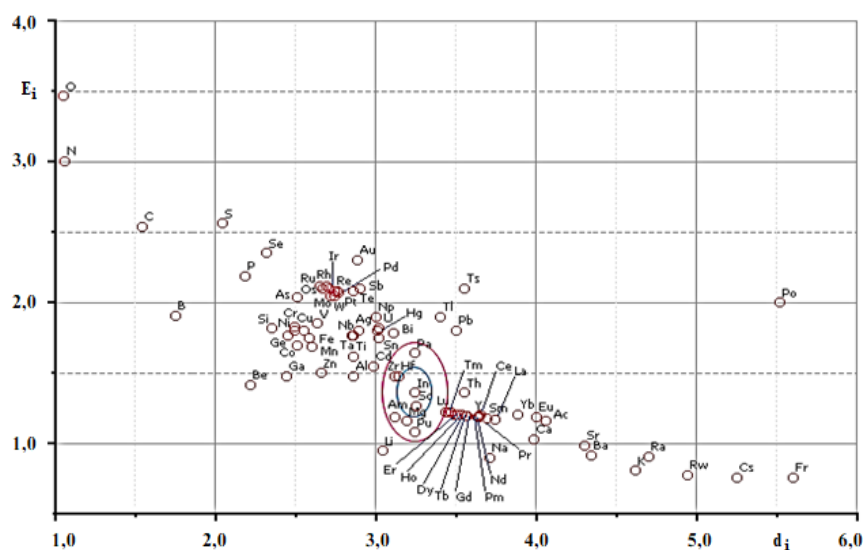
Барои ҳосил кардани як қатор маҳлулҳои саҳт хосиятҳои изоморфии структураи кристаллҳо, наздикии диаметри атомӣ ($n_r \leq 8\%$) ва фарқияти хурди электроманфиати элементҳо ($\Delta E \leq 0,2$) талаб карда мешавад. Дар сурати умумӣ эҳтимолияти пайдоиши минтақаҳои васеи маҳлулҳои саҳти маҳдуд ($n_r > 5\%$) бо кам шудани омили ҳаҷм зиёд мешавад. Дар $n_r > 15\%$, танҳо ҳалшавандагии ночиз имконпазир аст. Шартҳои иловагии маҳдуд кардани ҳалшавандагӣ фарқияти электроманфиатро ба вуҷуд меорад. Бо омили номувофиқи андоза ($n_r > 15\%$), фарқияти калон дар электроманфиат ($\Delta E \leq 0,4$) низ ба ҳалшавии ночиз оварда мерасонад [23]. Ҳар яке аз ин омилҳои зарурӣ, ки алоҳида гирифта шудаанд, барои пешгӯии ҳалшавандагии элементҳо дар ҳолати саҳтӣ кофӣ нестанд [20-47].

Л.С. Даркен ва Р.В. Гурри [22] усули графикаро барои муайян кардани эҳтимолияти пайдоиши маҳлулҳои номаҳдуд ва маҳдуд дар ҳолати саҳтии компонентҳо дар элементи додасуда пешниҳод кардаанд. График вобаста ба омили электрохимиявӣ (E) аз омили андозагирӣ (d_i) сохта мешавад, ки дар он ҳар як элементи ЧД бо нуқтаи нишон дода мешавад. Дар график ду эллипс сохта шудааст, ки меҳварҳои онҳо ба шароити ташаккули минтақаҳои номаҳдуди маҳлулҳои саҳт бо меҳварҳои калон бо андозаҳои $\pm 15\%$ фарқияти диаметри атомӣ $\pm 0,4$ воҳиди электрикӣ ва хурд – $\pm 8\%$ $\pm 0,2$, мутаносибан мувофиқат мекунад. Компонентҳои як навъ дар дохили эллипси хурд ҷойгиршуда бояд бо элементи мавриди назар ҳалшавандагии доимиро ташкил кунанд.

Паҳноии минтақаҳои маҳлулҳои саҳти якхела бо компонентҳои дар дохили эллипси калон ҷойгиршуда бояд аз 5% зиёд бошад. Ҳалпазирии компонентҳои дигар хеле маҳдуд аст. Мо чунин графикро барои системаҳои индӣ сохтаем (расми 1.2). Мумкин аст, ки дар минтақаи мусоиди ҳосилшавии маҳлулҳои саҳти он бо масоҳати васеъ элементҳои зерин пайдо шаванд: магний, америтсий, плутоний, скандий, индӣ, протактиний ва гафний.

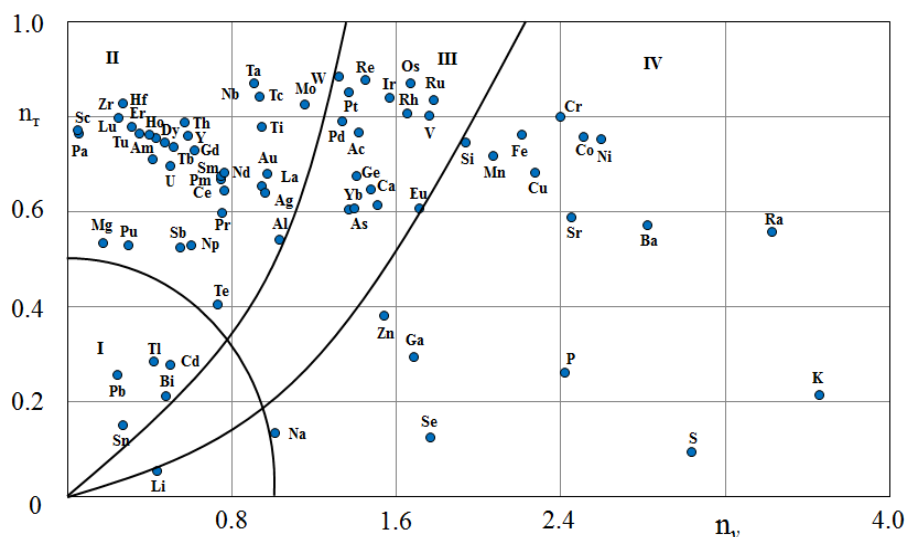
Бо дар назар доштани он, ки бо афзоиши фарқияти электроманфиат, камшавии соҳаи маҳлулҳои саҳт ва афзоиши имкони ташаккули

пайвастагиҳои интерметаллӣ дар ҳулаҳои аз онҳо асосёфта, аксарияти компонентҳо дар минтақаи пайдоиши майдони нозизи маҳлулҳои саҳт ва пайвастагиҳои интерметаллӣ ҷойгир шудаанд (расми 1.2).



Расми 1.2. –Графики вобастагии омили электрохимиявӣ (E_i) аз андоза (d_i) барои пешгӯӣ намудани ҳалшавандагии элементҳо дар индӣ

В.М. Воздвиженский барои ба вучуд овардани маҳлулҳои номаҳдуд дар ҳолати саҳтӣ низ ҳамзамон истифода бурдани омили ҳарорат ва ҳаҷмро барои пешгӯӣ пешниҳод менамояд [23]. Ин тавсияро ба кор бурда, барои муайян кардани эҳтимолияти пайдоиши маҳлулҳои номаҳдуд ва маҳдуд дар ҳолати саҳтӣ барои системаҳои индӣ бо дигар элементҳои ҚД коэффитсиенти ҳарорат - (n_T) ва омили ҳаҷм (n_V)-ро тартиб додем (расми 1.3).



Расми 1.3. –Графики вобастагии омили ҳарорат (n_T) аз ҳаҷм (n_V) барои индӣ бо элементҳои чадвали Д.И. Менделеев

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳо нишон доданд (расми 1.3), ки дар системаҳои индий бо Li, Na, Mg, Sn, Bi, Cd, Pb, Tl, Te, Pu бояд минтақаи давомдор ё васеи маҳлулҳои саҳт ҳосил шавад. Координатаҳои нуқтаҳои онҳо ба қисми дохилии камони эллипс афтодаанд, ки бо муодилаи $(n_T^2 / 0,5^2) + (n_V^2 / 1,0^2)$ тасвир шудааст. Элементҳое, ки дар тарафи берунии эллипс ҷойгиранд, аз рӯйи ҳисобҳо маҳлулҳои саҳти маҳдуд ва хеле маҳдуд бо индийро ташкил медиҳанд. Ҳангоми аз сарҳади эллипс дур шудани координатаҳои нуқтаҳои таркиб, эҳтимолияти мавҷудияти ҳалшавӣ дар ҳолати саҳти индий бо элементҳои номбурда кам мешавад.

Ҳамчун илова ба натиҷаҳои бадастомада барои пешгӯии ҳалшавандагӣ дар ҳолати саҳтии индий бо дигар элементҳои ЧД мо хусусияти таъсири мутақобилаи онҳоро бо назардошти таносуби омили андоза, гармии сублиматсия ва намуди сохтории боҳамтаъсиркунии компонентҳо (ҷадвали 1.4) мавриди муҳокима қарор додем. Ин қарор аз он бар меояд, ки дар асоси тасаввуроти физико-химиявии раванди ҳалшавӣ, чунон ки В.П. Гладишев [46] нишон медиҳад, металлҳое, ки гармии сублиматсияшон паст аст, хуб ҳалшавандаанд, ё ин ки металлҳое, ки дорои гармии баланди сублиматсия мебошанд, амалан ҳалнашавандаанд, ё минтақаи хеле маҳдуди маҳлулҳои саҳтро ташкил медиҳанд. Дар ҳолате ки компонентҳои дорои минтақаҳои ҳалшавандагии маҳдуд (5%) мавқеи миёнаро ишғол мекунанд.

Ҷадвали 1.4. –Маълумот оид ба таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ҷадвали даврӣ дар ҳолати саҳтӣ

Рақами тартибии атом	Система	Омили андоза $n_T, \%$	Навъи сохтории элемент	Навъи боҳамтаъсиркунии интизоршаванда: XH^1, XM^2, XXM^3, MXB^4
1	2	3	4	5
3	In-Li	6.173	куб.	MXB
4	In-Be	31.48	гекс.	XXM
5	In-B	45.99	тетр.	XXM
6	In-C	52.47	гекс.	XXM
7	In-N	67.28	гекс.	XXM
8	In-O	67.59	-	XXM
11	In-Na	12.67	куб.	XM
12	In-Mg	1.543	гекс.	XH

<i>Идомаи ҷадвали 1.4</i>				
1	2	3	4	5
13	In-Al	11.73	куб.	ҲМ
14	In-Si	27.47	куб.	ҲҲМ
15	In-P	32.72	гекс.	ҲҲМ
16	In-S	37.04	ромб.	ҲҲМ
19	In-K	29.87	куб.	ҲҲМ
20	In-Ca	18.59	куб.	ҲҲМ
21	In-Sc	0.308	гекс.	ҲН
22	In-Ti	11.73	гекс.	ҲМ
23	In-V	18.83	куб.	ҲҲМ
24	In-Cr	23.15	куб.	ҲҲМ
25	In-Mn	19.75	куб.	ҲҲМ
26	In-Fe	20.37	куб.	ҲҲМ
27	In-Co	22.53	гекс.	ҲҲМ
28	In-Ni	23.15	куб.	ҲҲМ
29	In-Cu	21.3	куб.	ҲҲМ
30	In-Zn	17.9	гекс.	ҲҲМ
31	In-Ga	24.69	ромб.	ҲҲМ
32	In-Ge	24.38	куб.	ҲҲМ
33	In-As	22.53	ромб.	ҲҲМ
34	In-Se	28.4	гекс.	ҲҲМ
37	In-Rb	34.41	куб.	ҲҲМ
38	In-Sr	24.65	куб.	ҲҲМ
39	In-Y	8.989	гекс.	МҲВ
40	In-Zr	3.704	гекс.	ҲР
41	In-Nb	12.04	куб.	ҲМ
42	In-Mo	16.05	куб.	ҲҲМ
43	In-Tc	8.732	гекс.	МҲВ
44	In-Ru	18.21	гекс.	ҲҲМ
45	In-Rh	16.98	куб.	ҲҲМ
46	In-Pd	14.81	куб.	ҲМ
47	In-Ag	10.8	куб.	ҲМ
48	In-Cd	8.025	гекс.	МҲВ
50	In-Sn	6.79	куб.	МҲВ
51	In-Sb	10.49	ромб.	ҲМ
52	In-Te	11.73	гекс.	ҲМ
55	In-Cs	38.29	куб.	ҲҲМ
56	In-Ba	25.35	куб.	ҲҲМ
57	In-La	13.37	гекс.	ҲМ
58	In-Ce	11.23	куб.	ҲМ
59	In-Pr	10.99	куб.	ҲМ
60	In-Nd	10.74	гекс.	ҲМ
61	In-Pm	10.99	-	ҲМ
62	In-Sm	12.2	ромб.	ҲМ

<i>Хотимаи ҷадвали 1.4</i>				
1	2	3	4	5
63	In-Eu	19	куб.	ҲҲМ
64	In-Gd	9.244	гекс.	ҲМ
65	In-Tb	8.215	гекс.	МҲВ
66	In-Dy	7.692	гекс.	МҲВ
67	In-Ho	7.163	гекс.	МҲВ
68	In-Er	6.628	гекс.	МҲВ
69	In-Tm	6.087	гекс.	МҲВ
70	In-Yb	16.49	куб.	ҲҲМ
71	In-Lu	5.539	гекс.	ҲН
72	In-Hf	3.086	гекс.	ҲН
73	In-Ta	11.73	куб.	ҲМ
74	In-W	15.43	куб.	ҲМ
75	In-Re	15.43	гекс.	ҲМ
76	In-Os	17.59	гекс.	ҲҲМ
77	In-Ir	16.36	куб.	ҲҲМ
78	In-Pt	14.51	куб.	ҲМ
79	In-Au	11.11	куб.	ҲМ
80	In-Hg	7.099	ромб.	МҲВ
81	In-Tl	4.706	гекс.	ҲН
82	In-Pb	7.429	куб.	МҲВ
83	In-Bi	4.012	ромб.	ҲН
84	In-Po	41.3	-	ҲҲМ
87	In-Fr	42.14	куб.	ҲҲМ
88	In-Ra	31.06	куб.	ҲҲМ
89	In-Ac	20.2	куб.	ҲҲМ
90	In-Th	8.732	куб.	МҲВ
92	In-U	6.79	ромб.	МҲВ
93	In-Np	7.407	ромб.	МҲВ
95	In-Am	3.704	гекс.	ҲН

Эзоҳ: 1 - ҳалшавандагии номаҳдуд; 2 - ҳалшавандагии маҳдуд;
3 - ҳалшавандагии хеле маҳдуд; 4 - минтақаи ҳалшавандагии васеъ.

Аз маълумоте, ки дар рафти омӯзиш ба даст оварда шудааст (ҷадвали 1.4) хулоса бар меояд, ки индӣ бо Be, B, C, N, O, Si, P, S, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ru, Rh, Cs, Ba, Eu, Yb, Os, Ir, Po, Fr, Ra, Ac дар ҳолати сахтӣ ҲҲМ дорад. ҲМ-ро дар ҳолати сахтӣ барои системаҳои индӣ бо Na, Al, Ti, Nb, Pd, Ag, Sb, Te, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Gd, Ta, W, Re, Pt ва Au пешгӯӣ кардан мумкин аст. ҲН ё ҳалшавандагии васеъ дар ҳолати сахтӣ барои системаҳои индӣ бо металлҳо ба монанди Li, Mg, Sc, Y, Zr, Tc, Cd, Sn, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Hf, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U, Np ва Am хос аст.

Ҳамин тавр, вобастагии ҳисобшудаи хосиятҳои физико-химиявии элементҳо имкон медиҳанд, ки хусусияти таъсири мутақобилаи онҳо бо индий дар ҳолатҳои сахтӣ ва моеъгӣ шарҳ дода шавад, ки ин барои пешгӯии ДХ замина мегузорад.

1.4. Мувозинати нонварианти ва пешгӯии ҳосилшавии пайвастагиҳои химиявӣ дар системаҳои индий бо дигар элементҳои чадвали даврии

Д.И. Менделеев

Пешгӯии ҳосилшавии реаксияҳои эвтектикӣ ва перитектикӣ.

Ҳосилшавии намудҳои гуногуни тағйироти нонвариантиро дар системаҳо аз рӯйи арзишҳои ҳарорати гудохташавӣ ва омили ҳаҷми компонентҳои ба ҳам таъсиркунанда пешгӯӣ кардан мумкин аст. Фосилаи нисбатан калон байни нуқтаҳои гудозиш ва ҷӯшиши индий ва тамоюли он ба ташаккули маҳлулҳои сахти маҳдуд бинобар андозаи сохтори атомӣ барои ин ҳолат имкон медиҳад, ки миқдори зиёди реаксияҳои эвтектикӣ ва перитектикӣ дар системаҳои дучандаи In-Э мушоҳида карда шаванд. Ба ин хотир дар кори [23] пешниҳод шудааст, ки ҳисоби муштараки омилҳои ҳарорат (n_T) ва ҳаҷм (n_V) истифода шавад. Мо вобастагии монандро ба системаҳои дорои индий татбиқ намудем, ки дар он қиматҳои n_T аз нобаробарӣ (1.1) ва омили ҳаҷм аз муодилаи зерин ҳисоб карда шудаанд:

$$n_V = (d_1 : d_2)^3 + (V_1 : V_2) - 2, \text{ хангомӣ } d_1 > d_2 \text{ ва } V_1 > V_2, \quad (1.6)$$

ки дар ин ҷо d_i - диаметри атом ва V_i - мутаносибан ҳаҷми элементҳои ба ҳам таъсиркунанда мебошанд.

Натиҷаҳои ҳисобкуниҳо бо истифода аз муодилаҳои (1.1) ва (1.6) дар чадвали 1.5 ва расми 1.3 нишон дода шудаанд. Графики сохташуда (ниг. расми 1.3) майдонҳои пайдоиши навъҳои гуногуни табдилёбии нонвариантиро нишон медиҳад. Хатти қачи II бо муодилаи $n_T = 0.55 n_V^2$ тавсиф карда мешавад ва сарҳади минтақае мебошад, ки ба қимати перитектикӣ дар системаҳои сода мувофиқ аст. Дидан мумкин аст (ниг. расми 1.3), ки тахминан индий бо 39 элементи ҚД (Mg, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Lu, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta,

Mo, Tc, Ag, Au, Cd, Al, Tl, Sn, Pb, Sb, Bi ва Te) системаҳои оддии перитектикӣ ва эвтектикиро ҳосил карда метавонад. Дар ҷадвали 1.5 пешгӯии таъсири мутақобила аз рӯи арзишҳои омилҳои ҳарорат (n_T) ва ҳаҷм (n_V) барои муайян кардани эҳтимолияти ташаккули намудҳои тағйироти нонварианти дар системаҳои индӣ бо элементҳои ҚД оварда шудааст.

Ҷадвали 1.5. –Маълумот оид ба эҳтимолияти ташаккули намудҳои тағйироти нонварианти дар системаи индӣ бо элементҳои ҷадвали даврӣ

Рақами атомӣ	Система	Омили ҳарорат n_T	омили ҳаҷм n_V	Навъи интизоршавандаи таъсири мутақобила: (Э-П) ¹ ; (ПП-И) ² ; (ПЭ-К) ³
1	2	3	4	5
3	In-Li	0.054107	0,4354	ПЭ-К
4	In-Be	0.725352	4.3332	ПЭ-К
5	In-B	0.817602	7.7296	ПЭ-К
11	In-Na	0.135641	1.0077	ПЭ-К
12	In-Mg	0.534202	0,1763	Э-П
13	In-Al	0.540192	1.0339	Э-П
14	In-Si	0.745702	1,9375	ПЭ-К
15	In-P	0.260839	2.4197	ПЭ-К
16	In-S	0.095081	3.0323	ПЭ-К
19	In-K	0.216200	3.6524	ПЭ-К
20	In-Ca	0.614208	1.5118	ПП-И
21	In-Sc	0.763506	0,0556	Э-П
22	In-Ti	0.778979	0,9445	Э-П
23	In-V	0.801664	1.7596	ПП-И
24	In-Cr	0.798591	2.3976	ПЭ-К
25	In-Mn	0.717205	2.0703	ПЭ-К
26	In-Fe	0.762458	2.2059	ПЭ-К
27	In-Co	0.757352	2.5091	ПЭ-К
28	In-Ni	0.751448	2.5971	ПЭ-К
29	In-Cu	0.683628	2.2766	ПЭ-К
30	In-Zn	0.380577	1.5434	ПЭ-К
31	In-Ga	0.294219	1.6803	ПЭ-К
32	In-Ge	0.645454	1.4746	ПП-И
33	In-As	0.606422	1.3663	ПП-И
34	In-Se	0.124489	1.7617	ПЭ-К
37	In-Rb	0.272983	5.0571	ПЭ-К
38	In-Sr	0.588291	2.4515	ПЭ-К
39	In-Y	0.761002	0,586	Э-П
40	In-Zr	0.798117	0.2485	Э-П
41	In-Nb	0.843487	0,9322	Э-П

<i>Идомаи чадвали 1.5</i>				
1	2	3	4	5
42	In-Mo	0.851557	1.371	Э-П
43	In-Tc	0.824539	1.1526	Э-П
44	In-Ru	0.835443	1.7783	ПП-И
45	In-Rh	0.808396	1.651	ПП-И
46	In-Pd	0.764931	1.4132	ПП-И
47	In-Ag	0.652631	0,9431	Э-П
48	In-Cd	0.277656	0,5006	Э-П
50	In-Sn	0.150444	0.2665	Э-П
51	In-Sb	0.525306	0,5465	Э-П
52	In-Te	0.406228	0,7324	Э-П
55	In-Cs	0.297435	6.5456	ПЭ-К
56	In-Ba	0.570140	2.8212	ПЭ-К
57	In-La	0.639798	0,9621	Э-П
58	In-Ce	0.599439	0,7525	Э-П
59	In-Pr	0.643687	0,7597	Э-П
60	In-Nd	0.668469	0,7481	Э-П
61	In-Pm	0.673764	0,7471	Э-П
62	In-Sm	0.681514	0,762	Э-П
63	In-Eu	0.608219	1.7108	ПП-И
64	In-Gd	0.729508	0.6162	Э-П
65	In-Tb	0.736648	0,5148	Э-П
66	In-Dy	0.745400	0,4739	Э-П
67	In-Ho	0.754436	0,4333	Э-П
68	In-Er	0.761931	0,3993	Э-П
69	In-Tm	0.764026	0,3529	Э-П
70	In-Yb	0.607142	1.3946	ПП-И
71	In-Lu	0.778866	0,313	Э-П
72	In-Hf	0.828400	0.269	Э-П
73	In-Ta	0.868767	0,9034	Э-П
74	In-W	0.883518	1.3166	ПП-И
75	In-Re	0.875760	1.4489	ПП-И
76	In-Os	0.871055	1.6679	ПП-И
77	In-Ir	0.840104	1.5678	ПП-И
78	In-Pt	0.790220	1.3365	ПП-И
79	In-Au	0.679132	0,9728	Э-П
80	In-Hg	1.545757	0.3148	Э-П
81	In-Tl	0.255854	0,2442	Э-П
82	In-Pb	0.285595	0,4188	Э-П
83	In-Bi	0.211831	0,4788	Э-П
84	In-Po	0.185958	4.3756	ПЭ-К
87	In-Fr	0.300699	4.4798	ПЭ-К
88	In-Ra	0.559095	3.4259	ПЭ-К
89	In-Ac	0.675737	1.4043	ПП-И

<i>Хотимаи ҷадвали 1.5</i>				
1	2	3	4	5
90	In-Th	0.787938	0,5685	Э-П
91	In-Pa	0.770955	0,0464	Э-П
92	In-U	0.694661	0,4988	Э-П

Эзоҳ: 1 - системаи оддӣ бо эвтектика ё перитектика; 2 - системаи мураккаб бо перитектика ва пайвастагии инконгруэнтии гудохташаванда; 3 - системаи мураккаб бо эвтектика ва пайвастагиҳои конгруэнтии гудохташаванда.

Системаҳои индӣ бо металлҳои нодир ва радиоактивӣ (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tu, Lu, Th, Pa, U Np, Pu, ва Am) диққати махсусро талаб мекунад, ки барои он аз тарафи индӣ табдилёбии эвтектикӣ ва перитектикӣ пешгӯӣ карда мешавад, ки онро таҳқиқотчиёни дигар ба таври таҷрибавӣ тасдиқ мекунад.

Хатти қачи III бо муодилаи $n_T = 0,20 n_v^2$ тавсиф карда мешавад ва минтақаҳои мувофиқро ба системаҳои дорои компонентҳои дергудохташаванда ҷудо мекунад, дар тарафи чап системаҳои пайвастагиҳои интерметаллӣ ба таври мушқил гудохташаванда ва тағйирёбии перитектикӣ ҷудо мешаванд. Эҳтимол индӣ системаҳои шабеҳро бо Ca, Eu, Yb, Ac, V, W, Re, Ru, Os, Rh, Ir, Pd, Pt, Ge ва As ташкил медиҳад.

Дар тарафи рости хатти қачи III (ниг. расми 1.3) элементҳои K, Li, Sr, Na, Ra, Cr, Ba, Mn, Ni, Fe, Cu, Co, Ga, Zn, Si, P, S ва Se ҷойгир шудаанд, ки онҳо бо индӣ системаҳои пайвастҳои конгруэнтии гудохта ва табдилоти эвтектикиро ташкил мекунад.

Ташаккули фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои индӣ бо дигар элементҳо.

Одатан, фазаҳои мобайнӣ ҳама фазаҳои сахтро дар бар мегиранд, ки дар диапазони консентратсияи байни маҳлулҳои минтақавӣ дар асоси компонентҳои мутақобила ба вуҷуд меоянд.

Дар диаграммаи фазавӣ ҳолатӣ марҳилаи мобайнӣ ҳамеша аз ҳадди сарҳадӣ бо минтақаҳои дуфазавӣ ҷудо карда мешавад.

Агар дар система якчанд фазаи мобайнӣ ҳосил шуда бошад, пас дар байни фазаҳои ҳамсоя минтақаҳои дуфазавӣ низ мавҷуданд. Фазаҳои

мобайнӣ ба фазаҳои таркибҳои доимӣ ва тағйирёбанда тақсим мешаванд. Ба фазаҳои мобайнии таркиби доимӣ пайвастагиҳои химиявии таркиби стехиометрии муайян (AB , AB_2 , A_3B ва ғайра) дохил мешаванд.

Фазаҳои мобайнии таркиби тағйирёбанда дорои паҳнои гуногуни минтақаи якхела мебошанд. Ин марҳилаҳо метавонанд маҳлулҳои сахт дар асоси пайвастагиҳо ё маҳлулҳо дар асоси тағйироти полиморфии яке аз компонентҳо бошанд.

Дар айни замон гурӯҳбандии ҳамаҷонибаи фазаҳои мобайнӣ дар асоси ягон хусусият вучуд надорад, ки бо шумораи зиёди омилҳое, ки шароити ташаккул ва табиати физико-химиявии онҳоро муайян мекунанд, шарҳ дода мешавад. Фазаҳои мобайнӣ бо ҳам дар ҳалшавандагии пурра ва ҳам маҳдуди компонентҳо дар ҳолати моеъ ташаккул меёбанд. Одатан, фазаҳои мобайнӣ элементҳои зергурӯҳҳои гуногуни ЧД-ро ташкил медиҳанд, ки бо сохти электронии атомҳо ва хосиятҳои физико-химиявӣ фарқ мекунанд. Чун қоида, элементҳои аналогҳои фазаҳои мобайнӣ надоранд, гарчанде ки дар ин намуна истисноҳо мавҷуданд [37].

Ҳосилшавии пайвастагиҳои металлӣ бо як қатор шартҳо муайян карда мешавад, ки асосиашон омили ҳаҷм, фарқияти электроманфиат ва фарқияти хосиятҳои химиявии компонентҳои ба ҳам таъсиркунанда мебошанд [49]. Нақши ин омилҳо дар ташаккули пайвастаҳои металлӣ [48] таҳлил шуда, таъсири омили ҳарорат ва потенциали нисбии ионизатсия ба таври илова ба назар гирифта шудааст [23]. Мо, инчунин, аз ин вобастагӣ истифода мебарем, ки натиҷаҳои он дар ҷадвали 1.6 ва расми 1.4 оварда шудаанд. Пешгӯии таъсири мутақобила аз рӯи арзишҳои омили ҳарорат (n_T) ва омили потенциали нисбии ионизатсия ($\Delta U_{\text{нисбӣ}}$) барои муайян кардани мавҷудияти фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои индӣ бо элементҳои ЧД дар ҷадвали 1.6 оварда шудааст.

Ҷадвали 1.6. –Ҳосилшавии фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои индӣ бо элементҳои ҷадвали даврӣ вобаста ба ҳарорат ва потенциали ионизатсионӣ

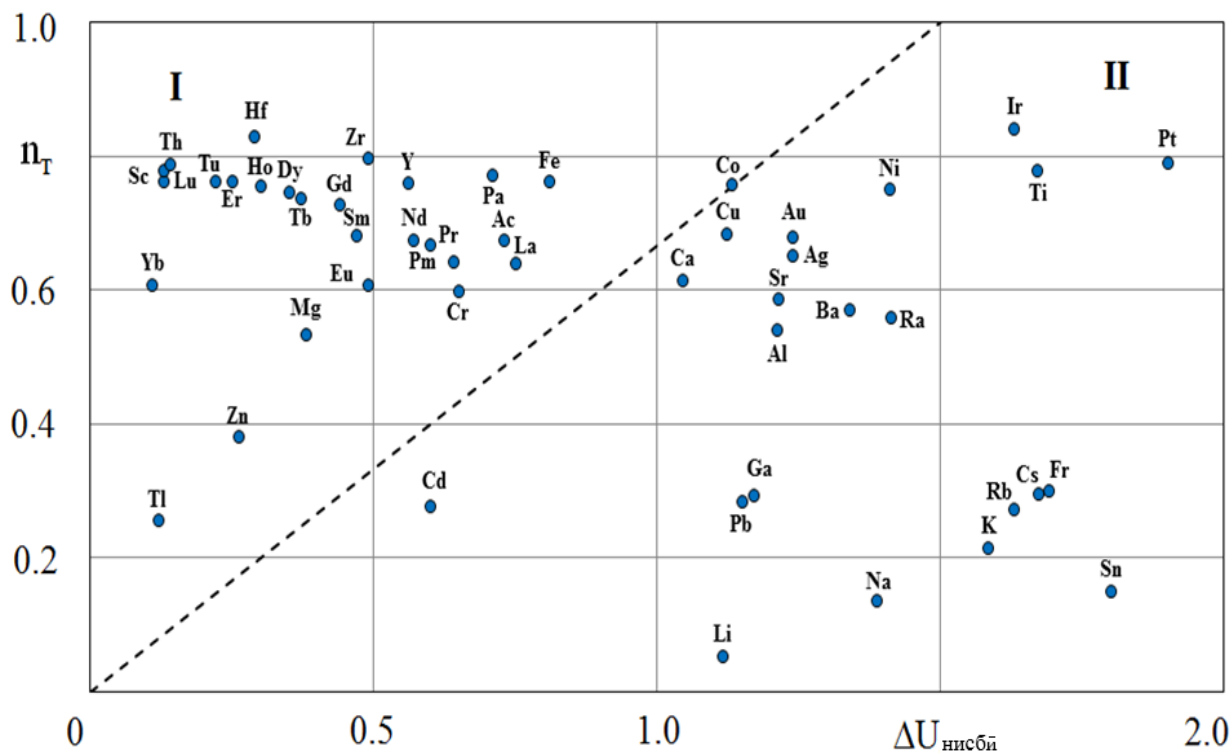
Рақами атомӣ	Система	n_T	$\Delta U_{\text{нисбӣ}}$	Мавҷудияти марҳилаҳои мобайнӣ
1	2	3	4	5

<i>Идмаи ҷадвали 1.6</i>				
1	2	3	4	5
3	In-Li	0.0541077	1.115	+
4	In-Be	0.7253521	2.14	+
5	In-B	0.817602	9.99	+
6	In-C	0.9216152	15.69	+
7	In-N	0.2167832	33.69	+
11	In-Na	0.135641	1.387	+
12	In-Mg	0.534202	0.38	-
13	In-Al	0.5401929	1.21	+
14	In-Si	0.7457024	4.38	+
15	In-P	0.2608392	8.19	+
16	In-S	0.0950816	13.89	+
19	In-K	0.2162005	1.584	+
20	In-Ca	0.6142086	1.044	-
21	In-Sc	0.7635061	0.13	-
22	In-Ti	0.7789799	1.67	+
23	In-V	0.8016644	3.64	+
24	In-Cr	0.7985915	6.69	+
25	In-Mn	0.717205	12.89	+
26	In-Fe	0.7624585	0.81	-
27	In-Co	0.7573529	1.13	-
28	In-Ni	0.7514484	1.41	+
29	In-Cu	0.6836283	1.123	+
30	In-Zn	0.380577	0.26	-
31	In-Ga	0.2942191	1.17	+
32	In-Ge	0.6454545	3.98	+
33	In-As	0.606422	5.33	+
34	In-Se	0.1244898	10.19	+
37	In-Rb	0.2729837	1.63	+
38	In-Sr	0.5882917	1.214	+
39	In-Y	0.7610028	0.56	-
40	In-Zr	0.7981176	0.49	-
41	In-Nb	0.8434878	2.26	+
42	In-Mo	0.8515571	3.9	+
43	In-Tc	0.8245399	4.09	+
44	In-Ru	0.835443	2.39	+
45	In-Rh	0.8083966	2.02	+
46	In-Pd	0.7649315	2.37	+
47	In-Ag	0.6526316	1.24	+
48	In-Cd	0.2776562	0.6	+
50	In-Sn	0.1504446	1.8	+
51	In-Sb	0.525306	4.59	+
52	In-Te	0.4062284	5.39	+
55	In-Cs	0.2974359	1.672	+

<i>Хотимаи ҷадвали 1.6</i>				
1	2	3	4	5
56	In-Ba	0.5701403	1.338	+
57	In-La	0.6397985	0.75	-
58	In-Ce	0.5994398	0.65	-
59	In-Pr	0.6436877	0.64	-
60	In-Nd	0.6684699	0.6	-
61	In-Pm	0.6737643	0.57	-
62	In-Sm	0.6815145	0.47	-
63	In-Eu	0.6082192	0.49	-
64	In-Gd	0.7295082	0.44	-
65	In-Tb	0.7366483	0.37	-
66	In-Dy	0.7454006	0.35	-
67	In-Ho	0.7544362	0.3	-
68	In-Er	0.7619312	0.25	-
69	In-Tm	0.7640264	0.22	-
70	In-Yb	0.6071429	0.11	-
71	In-Lu	0.778866	0.13	-
72	In-Hf	0.8284	0.29	-
73	In-Ta	0.8687672	2.34	+
74	In-W	0.8835189	4.24	+
75	In-Re	0.8757602	5.89	+
76	In-Os	0.871055	4.54	+
77	In-Ir	0.8401044	1.63	+
78	In-Pt	0.79022	1.9	+
79	In-Au	0.6791324	1.24	+
80	In-Hg	1.5457576	0.61	-
81	In-Tl	0.2558543	0.12	-
82	In-Pb	0.2855953	1.15	+
83	In-Bi	0.2118317	2.24	+
84	In-Po	0.1859583	5.41	+
87	In-Fr	0.3006993	1.69	+
88	In-Ra	0.5590956	1.413	+
89	In-Ac	0.675737	0.73	-
90	In-Th	0.7879387	0.14	-
91	In-Pa	0.7709557	0.71	-
92	In-U	0.6946619	2.15	-

Мушоҳида намудан мумкин аст (ниг. ба расми 1.4), ки элементҳои гурӯҳҳои II A (Mg), III A (Y, Sc, La, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Th, Pa), IVA (Zr ва Hf), VI A (Cr), VIII A (Fe), II B (Zn) ва III B (Tl) ҶД ба минтақаи I меафтанд. Минтақаи I (расми 1.4) ба афзоиши омили ҳарорат мувофиқат намуда, ба ташаккули системаҳои одӣ (бе фазаҳои мобайнӣ) мусоидат мекунад ва афзоиши фарқияти потенциалҳои

нисбии ионизатсияи компонентҳо боиси пайдо гардидани марҳилаҳои мобайнианд (минтақаи II, расми 1.4). Ба онҳо металлҳои ишқорӣ (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), МИЗ (Ca, Sr, Ba, Ra), элементҳои IVA (Ti), VIIIA (Co, Ir, Ni, Pt), I B (гурӯҳҳои Cu, Ag, Au), IIB (Cd), III B (Al, Ga), IV B (Sn, Pb) ва VI B (Co, Ni, Os, Pt)-и системаи даврӣ дохиланд. Минтақаи байни доменҳои мавҷудияти системаҳои одӣ ва системаҳои дорои фазаҳои мобайнӣ ба ростхатта (хатти раҳна) наздик аст. Минтақаи мавҷудияти системаҳои дорои фазаҳои мобайнӣ бо истифода аз таҳлили омӯри ошқор карда шудааст [23]. Якчанд истисноҳо вуҷуд доранд, ки бо шабоҳати сохтори атомӣ-кристаллии элементҳои ба ҳам таъсиркунанда алоқаманданд.



Расми 1.4. –Таҳлили якҷояи омили ҳарорат (T) ва потенциали нисбии ионизатсия ($\Delta U_{\text{нисбӣ}}$) барои муайян кардани эътимоднокии мавҷудияти фазаҳои гуногуни мобайнӣ дар системаи индӣ бо элементҳои ҷадвали Д.И. Менделеев

О. Кубашевский формуларо барои пайваस्ताгии чашмдошт пешниҳод кардааст [28]:

$$\Delta H_{\text{ҳос.}} = \frac{x_A H_s^A [C(A)_{\text{cnn}} - C(A)_{\text{ме}}]}{C(A)_{\text{ме}}} + \frac{x_B H_s^B [C(B)_{\text{cnn}} - C(B)_{\text{ме}}]}{C(B)_{\text{ме}}}, \quad (1.7)$$

ки дар ин ҷо x_i - ҳиссаи молии элементҳо, H_s - гармии сублиматсия, C - рақами миёнаи координатсионӣ аст.

Барои як қатор пайвастагиҳои химиявӣ, инчунин, барои навъи фазаҳои Лавес аз рӯи ин формула қиматҳои гармии сублиматсия ҳисоб карда шуда ва хатҳои қач муайян карда шудаанд, ки барои онҳо $\Delta H_{\text{хос}}=0$ комбинатсияҳои гуногуни $\Delta H_A / \Delta H_B$ ва R_A / R_B хос аст. Дар асоси ин хатҳои қач, арзишҳои гармии сублиматсия ва радиусҳои атомӣ дар як қатор ҳолатҳо мо метавонем, ки имкони пайдоиши пайвастҳои байни ду металлро пешакӣ муайян кунем. Мутобиқи ин арзишҳои диаметри атомӣ ва гармии сублиматсияи элементҳои ҷадвали 1.7 (расми 1.5) барои муқаррар кардани имкони ташаккули фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои дучандаи In-Э график тартиб додем.

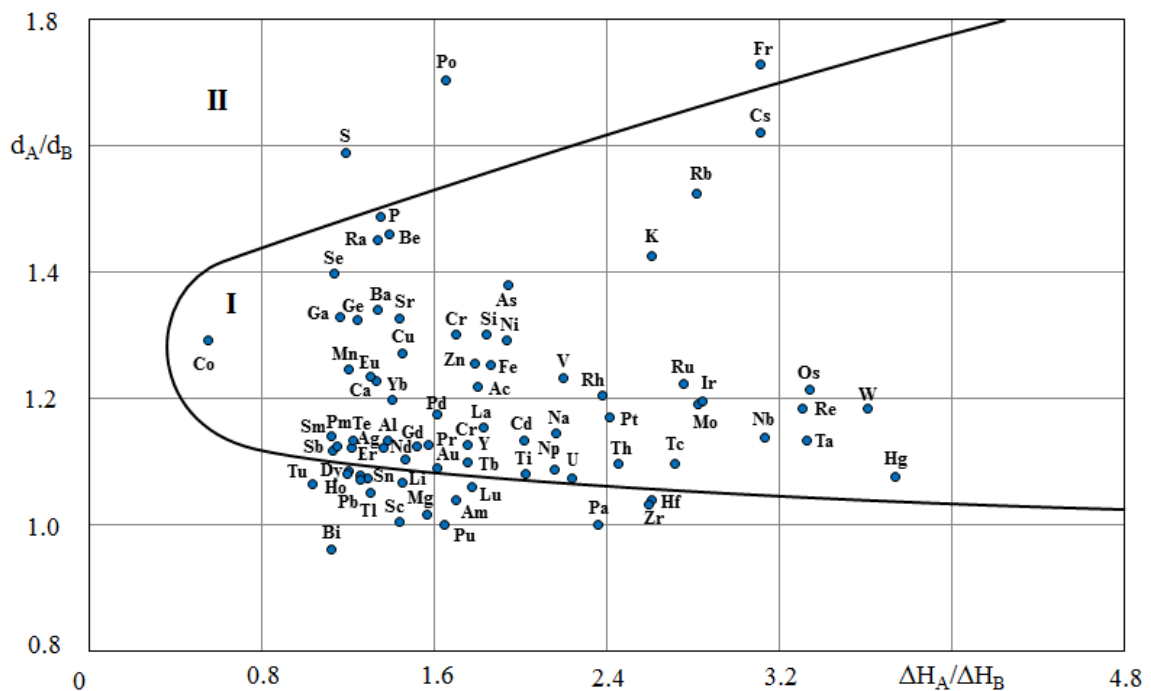
Ҷадвали 1.7. –Пешгӯии таъсири мутақобила аз рӯи диаметри атомӣ (d_i) ва гармии сублиматсия (ΔH_i) барои муайян кардани эҳтимолияти ташаккули фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои индӣ бо элементҳои ҷадвали даврӣ

Рақами атомӣ	Система	d_i	ΔH_i	Ҳосилшавии фазаҳо
1	2	3	4	5
3	In-Li	1.065789	1.450777	-
4	In-Be	1.459459	1.391071	+
5	In-B	1.851429	2.357143	-
6	In-C	2.103896	3.053571	-
7	In-N	3.056604	43.07692	-
8	In-O	3.085714	35.00000	-
11	In-Na	1.145062	2.162162	+
12	In-Mg	1.015674	1.559889	-
13	In-Al	1.132867	1.383929	+
14	In-Si	1.378723	1.935714	+
15	In-P	1.486239	1.344643	+
16	In-S	1.588235	1.185714	-
19	In-K	1.425926	2.604651	+
20	In-Ca	1.228395	1.327014	+
21	In-Sc	1.003086	1.437500	-
22	In-Ti	1.132867	2.012500	+
23	In-V	1.231939	2.196429	+
24	In-Cr	1.301205	1.696429	+
25	In-Mn	1.246154	1.200000	+
26	In-Fe	1.255814	1.785714	+
27	In-Co	1.290837	0.548482	+
28	In-Ni	1.301205	1.835714	+
29	In-Cu	1.270588	1.448214	+
30	In-Zn	1.218045	1.800643	+

<i>Идомаи ҷадвали 1.7</i>				
1	2	3	4	5
31	In-Ga	1.327869	1.158929	+
32	In-Ge	1.322449	1.241071	+
33	In-As	1.290837	1.931034	+
34	In-Se	1.396552	1.133603	+
37	In-Rb	1.524691	2.81407	+
38	In-Sr	1.327160	1.435897	+
39	In-Y	1.098765	1.750000	+
40	In-Zr	1.038462	2.607143	-
41	In-Nb	1.136842	3.125000	+
42	In-Mo	1.191176	2.821429	+
43	In-Tc	1.095679	2.714286	+
44	In-Ru	1.222642	2.750000	+
45	In-Rh	1.204461	2.375000	+
46	In-Pd	1.173913	1.607143	+
47	In-Ag	1.121107	1.214286	+
48	In-Cd	1.087248	2.153846	+
50	In-Sn	1.072848	1.285714	-
51	In-Sb	1.117241	1.125000	+
52	In-Te	1.132867	1.217391	+
55	In-Cs	1.620370	3.111111	+
56	In-Ba	1.339506	1.333333	+
57	In-La	1.154321	1.821429	+
58	In-Ce	1.126543	1.750000	+
59	In-Pr	1.123457	1.517857	+
60	In-Nd	1.120370	1.357143	+
61	In-Pm	1.123457	1.142857	+
62	In-Sm	1.138889	1.120000	+
63	In-Eu	1.234568	1.302326	+
64	In-Gd	1.101852	1.464286	+
65	In-Tb	1.089506	1.607143	+
66	In-Dy	1.083333	1.196429	-
67	In-Ho	1.077160	1.250000	-
68	In-Er	1.070988	1.250000	+
69	In-Tm	1.064815	1.035714	-
70	In-Yb	1.197531	1.400000	+
71	In-Lu	1.058642	1.767857	-
72	In-Hf	1.031847	2.589286	-
73	In-Ta	1.132867	3.321429	+
74	In-W	1.182482	3.607143	+
5	In-Re	1.182482	3.303571	+
76	In-Os	1.213483	3.339286	+
77	In-Ir	1.195572	2.839286	+
78	In-Pt	1.169675	2.410714	+

<i>Хотимаи ҷадвали 1.7</i>				
1	2	3	4	5
79	In-Au	1.125000	1.571429	+
80	In-Hg	1.076412	3.733333	+
81	In-Tl	1.049383	1.302326	-
82	In-Pb	1.080247	1.191489	-
83	In-Bi	0.959877	1.120000	-
84	In-Po	1.703704	1.647059	-
87	In-Fr	1.728395	3.111111	-
88	In-Ra	1.450617	1.333333	+
89	In-Ac	1.253086	1.857143	+
90	In-Th	1.095679	2.446429	+
91	In-Pa	1.000000	2.357143	-
92	In-U	1.072848	2.232143	+
93	In-Np	1.080000	2.017857	+
94	In-Pu	1.000000	1.642857	-
95	In-Am	1.038462	1.696429	-

Графики дар расми 1.5 овардашуда нишон медиҳад, ки системаҳои индий бо элементҳои Na, K, Rb, Cs, Be, Ca, Sr, Ba, Ra, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Er, Yb, Ac, Th, U, Np, Ti, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Tc, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Al, Ga, Si, Ge, P, As, Sb, Se ва Te шаҳодати ҳосилшавии фазаҳои мобайнӣ мебошанд.



Расми 1.5. –Баҳисобгирии муштараки диаметрҳои атомӣ (d_i) ва ҳарорати сублиматсия (ΔH_i) элементҳо барои муайян кардани эътимоднокии ташаккули фазаҳои мобайнӣ типҳои Лавес $MgZn_2$, $MgCu_2$ ва $CaCu_5$ дар системаҳои In-Э

Бояд қайд кард, ки агар дар як вақт бо меъёрҳои истифодашуда усули аналогия ба системаҳои индӣи дорои баъзе элементҳои ҚД татбиқ карда шавад, пас ташаккули фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои он бо Dy, Ho, Tu, Lu, Pa, Pu, Am - ро метавон мушоҳида намуд.

Дар расми 1.5 ишораҳо чунин маъно доранд: I - ҳудуди системаҳое, ки дар онҳо пайвастагиҳои фазаҳои мобайнӣи типӣ Лавес ҳосил мешаванд; II - ҳудуди системаҳое, ки дар онҳо пайвастагиҳо ҳосил намешаванд. Ҳамин тариқ, истифодаи меъёрҳои омили ҳарорат (n_T), потенциали нисбии ионизатсия ($\Delta U_{\text{нисбӣ}}$), диаметри атомӣ (d_i) ва гармии сублиматсия (ΔH_i)-и элементҳо имкон дод, ки эътимоднокии ташаккули фазаҳои мобайнӣ дар системаи индӣи бо баъзе элементҳои ҚД, ки пайвастагиҳои химиявишон муқаррар шудаанд, борҳо ба таври таҷрибавӣ тасдиқ ёфтаанд. Барои системаҳои дучандаи индӣи аллакай тақрибан 200 фаза вучуд дорад.

Дар асоси он ки вобастагии омилҳои истифодашаванда (компонентҳои n_T ва $\Delta U_{\text{нисбӣ}}$) барои пешгӯии фазаҳои мобайнӣ дар системаҳои дучандаи индӣи бо элементҳои ҚД бо истифода аз таҳлили омори муқаррар карда шудааст [23], инчунин, якчанд истисноҳо (тақрибан 8%), ки ба сохти атомию кристаллии элементҳои ба ҳам таъсиркунандаи наздик алоқаманданд, вучуд доранд.

Хулосаи боби якум

Дар боби якуми диссертатсия ғайр аз хосиятҳои асосӣ, маъданҳои фоиданок, истеҳсол ва истифодаи индӣи, инчунин таҳлили адабиёт оид ба таъсири мутақобилаи он бо дигар элементҳои чадвали даврӣ баррасӣ карда шуданд, ки дар асоси он чунин муқаррар карда шуд:

- индӣи металлӣ дар шароити муқаррарӣ ДХ ҳалшавандагии номаҳдудро (дар ҳолатҳои моеъ ва сахт) танҳо бо сурб ҳосил карда метавонад;

- пайдоиши пайвастагиҳои химиявӣ дар 58 системаҳои дучанда бо элементҳои Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U, Pu, Ti, Zr, Hf, Nb, Cr, Mn, Ru, Os,

Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Cd, Hg, Sn, N, P, As, Sb, Bi, O, S, Se ва Те муайян карда шудааст;

- дар 10 системаи дучандаи индӣ бо Rb, Cs, Be, V, Fe, Co, Al, S, Se ва Те таъсири мутақобилаи монотектикӣ муқаррар карда шудааст;

- муайян карда шудааст, ки дар 20 системаи дучандаи индӣ бо элементҳои ҚД дар як вақт мувозинатҳои эвтектикӣ ва перитектикӣ, дар 18 эвтектикӣ, эвтектоидӣ ва перитектикӣ, дар 3 эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ ва перитектоидӣ, дар 1 эвтектоид ва перитектикӣ, дар 1 эвтектикӣ, перитектикӣ ва кататектикӣ, дар 1 эвтектикӣ, перитектикӣ, перитектоид ва кататектикӣ, дар 3 эвтектикӣ, перитектикӣ ва перитектоид, дар 1 перитектикӣ ва перитектоид, дар 1 перитектикӣ ва 9 эвтектикӣ ба мушоҳида мерасад;

- ДХ-ии мукамал барои 56 системаи индӣ бо элементҳои Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pu, V, Nb, Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Al, Ga, Tl, Si, Ge, Sn, Pb, P, As, Sb, Bi, Se ва Те сохта шудааст;

- муайян карда шудааст, ки 15 системаи индӣ бо Ti, Zr, U, Hf, Ta, Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ir, В, N, O ва S - и ҚД пурра омӯхта нашудаанд;

- таҳлили адабиёт нишон дод, ки 19 системаи дукомпонентаи индӣ бо Fr, Ra, Ac, Pa, Np, Am, Cm, Br, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr, W, Tc, Re, C, Po ҚД умуман омӯхта нашудаанд;

- муайян гардид, ки системаҳои омӯхтанашударо дар асоси таҳқиқотҳои минбаъда бо усули аналогия пешгӯӣ намуда, навъҳои таъсири мутақобилашон муқаррар карда шаванд.

Бояд қайд кард, ки мо системаҳои индӣро бо галогенҳо баррасӣ накардаем, зеро пайвастагиҳои онҳо бо табиати бандҳои ионӣ ва ковалентӣ аз ҳамдигар фарқ доранд ва дар байни онҳо пайвастаҳои дорои навъи пайванди металлӣ вучуд надоранд. Ҳамин тавр, дар рафти таҳлили систематикӣ бо истифода аз диаграммаҳои мувозинати фазаҳо маълум гардид, ки аз 90 системаи дучандаи индӣ бо дигар элементҳои ҚД 56 система то андозае омӯхта шуда, ДХ онҳо сохта шудааст. Боқимонда

системаҳои дучандаи индӣ то ҳол омӯхта нашудааст ва табилоти фазавии онҳо муқаррар карда нашудааст. Аз ин бармеояд, ки 62,3%-и диаграммаҳои дучандаи мувозинати фазавии системаҳои индӣ бо элементҳои ЧД омӯхта ва сохта шудаанд.

Дар ин боби рисола, инчунин, натиҷаҳои баҳодиҳии намудҳои таъсири мутақобилаи In бо 80 элементи ЧД таҳлил карда шудааст, ки имкон дод барои системаҳои омӯхташуда ва системаҳои омӯхтанашуда, пешгӯии ҳалшавандагӣ, дар ҳолати моеъ ва сахт табилобии инвариантӣ ва ташаккули пайвастиҳои конгруэнтӣ (инконгруэнтӣ), фазаҳои гуногуни металлӣ муайян карда шаванд. Масалан, дар системаҳои In-S, In-Se ва In-Te, ки компонентҳои онҳо хӯлаҳои дорои хосиятҳои беназири нимноқилӣ мебошанд, пайдоиши маҳлулҳои саҳти маҳдуд, нуқтаҳои перитектикӣ ва эвтектикӣ, пайвастиҳо ва монотектикаҳо ба таври таҷрибавӣ муқаррар карда шудаанд, ки онҳо бо пешгӯиҳои додшуда бештар тасдиқ карда мешавад. Барои системаҳои пурра ва ё омӯхта нашуда, масалан, системаҳои индӣро бо металлҳои In-Cr, In-Mo, In-Os, In-Rh, In-Ru ва In-Ta мувозинатҳои фазавии ҳамаи системаҳои маҳдуд ҳалшаванда дар ҳолати саҳтӣ ва моеъгӣ омӯхта шуда, хусусиятҳои саҳтии онҳо низ муайян карда шудааст. Воқеан ҳам, қаблан барои омӯзиши таъсири мутақобила дар системаҳои номбурда ба таври таҷрибавӣ кӯшиш намудаанд, аммо намуди хӯлаҳо таҳқиқ нашудааст. Дар аксари ин системаҳо намуди монотектикий мувозинат бо ҷудошавӣ дар моеъ ва ҳалшавандагии ночиз дар ҳолати саҳтӣ таҳмин карда мешавад. Дар асоси ин таъсири мутақобилаи индӣро бо дигар элементҳои ЧД пешгӯӣ кардан мумкин аст ва бо истифода аз меъёрҳои омӯри онҳоро таҳлил ва тасдиқ намудан низ аз назар ҳолӣ нест.

Дар боби дуҷоми диссертатсия оиди баҳши ҳисобии системаҳои дучанда маълумот дода, он асосан системаҳои дучандаи индӣро бо дигар элементҳои ЧД фарогир аст. Фарқиати омӯзиш дар усули таҳлили омӯри не, балки термодинамикӣ дар асоси назарияҳои ҳалли идеалӣ, мунтазам ва моделӣ ҳалшавандагии ду минтақа ба назар гирифта шудааст.

БОБИ II. БАҲОДИҲИИ ТЕРМОДИНАМИКИИ НАВЪҲОИ БОҲАМТАЪСИРКУНИИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ ҶАДВАЛИ ДАВРИИ Д. И. МЕДЕЛЕЕВ

2.1. Ҳисоб намудани энергияи мубодила ва пешгӯии навъҳои системаҳои ба қабатҳо ҷудошаванда

Бо дар назар доштани он, ки пешгӯиҳои оморӣ дар бораи тасвири пурраи таъсири мутақобила дар системаҳои таҳқиқшаванда тасаввурот намедиханд, мо усули термодинамикиро барои ҳисоб намудани параметрҳои таъсири мутақобилаи индий бо дигар элементҳои ҶД барои сохтани диаграммаҳои мувозинати фазагӣ истифода намудем.

Дар асоси маълумоти бадастомада (ниг. ба боби I) системаҳои индийдорро ҷудо намудем, ки барои онҳо аз меъёрҳои статистикӣ ва термодинамикӣ ҷиҳати муайян кардани ҳалшавандагии элементҳои мушкилгудохташаванда дар индий истифода намудан имконпазир аст. Ҳангоми муқоисаи маълумоти ҳисобшудаи муаллифони дигар [9-12] бо маълумоти таҷрибавии ноилгаштамон фарқияти назаррас байни онҳо муқаррар карда шуд. Ин таваҷҷӯҳи моро ба арзёбии нишондодҳои таъсири мутақобилаи термодинамикӣ афзуд, ки барои ошкор сохтани намудҳои мувозинати фазагӣ дар системаҳои дучандаи индий бо дигар элементҳои ҶД ва зиёд намудани ҳалшавандагии онҳо истифода мешаванд.

Дар ҳисоб ифодаи термодинамикӣ [50, 51] истифода шудааст:

$$Q_{12} = ZN_0 [H_{12} - 0.5(H_{11} + H_{22})], \quad (2.1)$$

дар ин ҷо Q_{12} - энергияи мубодила, H_{12} , H_{11} , H_{22} - энталпияҳои алоқамандии комбинатсияҳои гуногуни ҷуфтҳои атомҳо, Z - рақами координатсионии ҳӯла ва N_0 - адади Авогадро мебошад.

Аз муодилаи (2.1) бармеояд, ки ҳангоми маълум будани бузургҳои Q_{12} , H_{12} , H_{11} ва H_{22} , метавон қиматҳои ΔH_{12} - ро пайдо кард, ки имкони ташаккули маҳлулҳоро ба таври миқдорӣ муайян мекунад:

$$\Delta H_{12} = Q_{12} \cdot X_{11} X_{22}.$$

Азбаски Q_{12} аз таркиб вобаста нест, ΔH_{12} функсияи параболии таркиб аст ва бояд симметрӣ бошад.

Агар Q_{12} манфӣ бошад, пас таъсири мутақобилаи чуфтҳои якхелаи 1-2-и атомҳо нисбат ба якҷинса қавитар аст, пас дар ҳарорати муайян маҳлулҳои 1-2 компонентро ташкил медиҳанд. Агар Q_{12} мусбат бошад, он гоҳ дар ҳарорати муайян маҳлул ба ду фазаи омехтанашаванда таҷзия мешавад.

Барои арзёбии имконияти ҳалшавандагии мутақобилаи индӣ бо дигар элементҳои ЧД дар асоси маълумотнома [47], арзиши энергияи мубодила (Q_{12}) дар наздикшавии Гилдебранд - Мотт бо истифода аз электроманфиат (E), ҳаҷми молярӣ (V) ва параметрҳои ҳалшавандагӣ (δ) ҳисоб карда шуд [39].

$$Q_{12} = V (\delta_1 - \delta_2)^2 - 23.06 Z / 2 (E_1 - E_2)^2 : \text{ккал/г - атом}; \quad (2.2)$$

Баҳодиҳии энталпияи атомизатсия ($\Delta N^{\text{ат}}$) ва ҳаҷми молярӣ (V) имкон медиҳад, ки параметрҳои ҳалшавандагӣ (δ) дар муодилаи (2.2) муайян карда шаванд:

$$\delta = [(\Delta N^{\text{ат}} - RT / V)]^{1/2}, \quad (2.3)$$

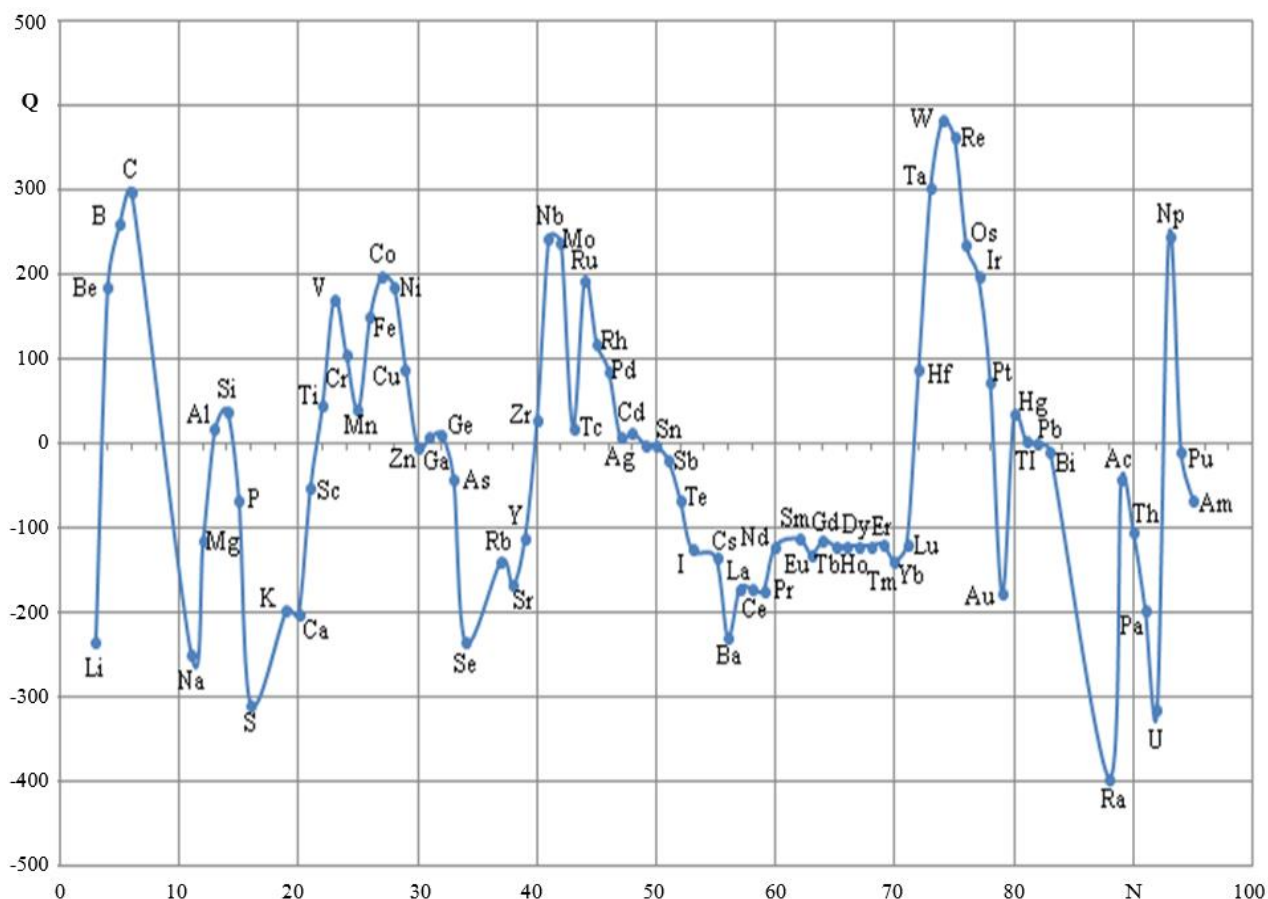
ки дар ин ҷо R - доимии газӣ ва T - ҳарорати мутлақ аст.

Бузургии ифодаи энергияи мубодила, ба монанди хусусиятҳои дигар [51], хосияти даврии мавқеъи элемент дар ЧД мебошад. Барои муқаррар намудани ин давронӣ (периодичности) графике истифода мешавад, ки вобастагии энергияи мубодилаи индӣро бо дигар элементҳо аз рақами тартибиашон ифода мекунад.

Натиҷаҳои ҳисобкунии энергияи мубодилаи индӣ бо элементҳои ЧД аз рӯи муодилаҳои (2.2) ва (2.3) вобаста ба рақами тартибии онҳо дар расми 2.1 нишон дода шудаанд. Дидан мумкин аст, ки ба энергияи мубодила (Q_{12}) даврии мунтазам хос аст.

Барои қиматҳои энергияи мубодилаи индӣ бо элементҳо дар даврҳои хурди ЧД як максимум мушоҳида мешавад: дар даври 2-юм дар C , дар даври 3-юм қимати мусбати калонтарин ба Si ва дар даврҳои калон ду максимум

мушохида мешавад, дар даври 4-ум аз рӯи V ва Co, дар даври 5-ум дар Nb ва Ru, дар даври 6-ум дар W ва Hg ва дар даври 7-ум дар Ac ва Np. Дидан мумкин аст, ки максимумҳо ба элементҳои рост меоянд, ки арзиши баланди энергияи мубодила (ба истиснои силитсий ва симоб) доранд ва хусусияти мустаҳкамии панҷараҳои кристаллиро ифода мекунанд. Вобастагии мураккаби даврӣ аз рақами атомии элемент пайдо мешавад. Дар ҳар як давр ин арзишҳо баланд мешаванд, ба ҳадди аксар мерасанд ва сипас коҳиш меёбанд. Максимумҳои кутухмуддат мутаносибан бериллий, бор, карбон, алюминий ва силитсий мебошанд. Барои элементҳои даврҳои калон, ин вобастагӣ то андозае мураккабтар мегардад. Дар давоми даврҳои ин вобастагӣ якчанд максимумро нишон медиҳад.



Расми 2.1. – Вобастагии ифодаҳои энергияи мубодилаи (Q , кДж/г-ат.) индӣ бо элементҳои чадвали даврӣ аз рақами тартибии онҳо (N)

Максимумҳои якум ва дуҷум ба МГ рост меоянд, ки онҳо титан, ванадий, хром, оҳан, кобальт, никел, ниобий, молибден, тантал, волфрам, рений, рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина, инчунин,

актиний, торий, протактиний ва нептуний мебошанд. Минимумҳо ба газҳои инертӣ (онҳо дар ин ҷо номбар нашудаанд), инчунин, ба металлҳои ишқорӣ, МИЗ ва металлҳои нодирӣ заминӣ тилло, нукра, уран ва америтсий рост меоянд.

Ҳамин тавр, вобастагии энергияи мубодилаи байни гурӯҳҳои алоҳидаи ЧД-ро ба заряди ядроӣ байни атомҳо ба таври графикӣ тасвир намуда, қонуниятҳои навро муқаррар намудан мумкин аст. Дар асоси тасаввуроти навҳои ДХ, ки ҳалшавандагии мутақобилаи элементҳоро дар ҳолати моеъ ва сахт вобаста ба ҳарорат нишон медиҳанд, ин қонунҳоро қаноатбахш шарҳ додан мумкин аст, зеро энергияи мубодилаи байни компонентҳо яке аз беҳтарин меъёрҳо барои ҳалшавандагӣ дар ҳолати моеъ мебошад [3]. Аз расми 2.1 бармеояд, ки аз рӯи арзишҳои Q_{12} , элементҳо ба ду синф ҷудо мешаванд [51]:

- 1) бо энергияи мубодилаи $Q_{12} < 0$; [$H_{12} < 0.5 (H_{11} + H_{22})$];
- 2) бо энергияи мубодилаи $Q_{12} > 0$; [$H_{12} > 0.5 (H_{11} + H_{22})$].

Қиматҳои манфии Q_{12} ба ташаккули ҳӯла дар индӣ - элементҳои ЧД-ро нишон медиҳанд, ки дар диаграммаҳои ҳолатӣ онҳо мавҷудияти омехтаҳои механикӣ, даври маҳлулҳои моеъ, сахт ва пайвастагии интерметаллидҳо мушоҳида карда мешаванд (расми 2.2, а - е). Ҷудошавии компонентҳо дар моеъ ва пайдоиши маҳлулҳои сахти ночиз системаҳои дукомпонентаи индӣро ҳангоми $Q_{12} > 0$ тавсиф мекунад (расми 2.2, ж ва з). Таҳлил нишон дод, ки онҳо бо маълумоти мавҷудаи ҳисобшуда ва таҷрибавӣ тасдиқ шудаанд [9-12, 51].

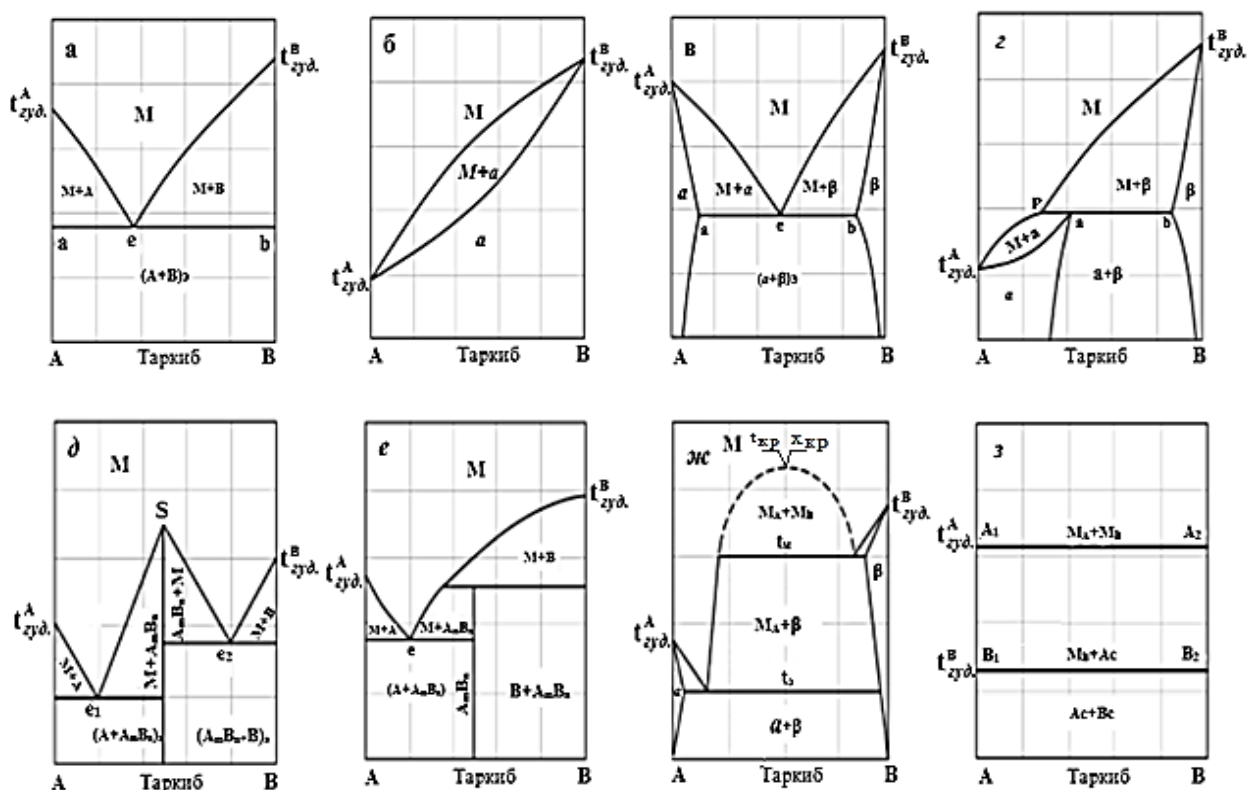
Сарфи назар аз қуллаи будани истифодаи арзишҳои энергияи мубодила чӣ қадар баҳодиҳии таъсири мутақобилаи онҳо барои пешгӯии диаграммаҳои ҳолатӣ бо ҷудошавӣ, монотектика ва умуман набудани таъсири мутақобилаи индӣ бо дигар компонентҳо нокифоя буданд. Вобаста ба ин, дар [43] барои муайян кардани таъсири мутақобила дар чунин системаҳо як меъёри нав, дараҷаи тартиби кӯтоҳмуддат σ_{12} пешниҳод шудааст, ки натиҷаҳои он бо маълумоти таҷрибавӣ пурра мувофиқат

мекунад. Барои ҳудудгузори системаҳои ҷудошавандаи индӣ бо дигар элементҳо мо, инчунин, дар ҳисобҳо меъёри зикршударо истифода намудем, ки қиматҳои онҳо бо муодилаи зерин муайян карда шудаанд [43-44, 51]:

$$(1 - \sigma) / (1 + \sigma) = \exp(-\Delta H / kT), \quad (2.4)$$

ки дар ин ҷо k - доимии Болтсман аст ва $\Delta H = [0.5 (H_{11} + H_{22})]$.

Хулоса намудем, ки агар арзишҳои ΔH мусбат бошанд, пас σ_{12} низ ҳамин тавр қиматҳои мусбӣ мегирад, ки ин як наздикиро нишон медиҳад. Агар ΔH манфӣ бошад, σ_{12} низ манфӣ хоҳад буд, яъне таъсири мутақобилаи заррачаҳои ба ҳам номбаршудаи 1-1 (индӣ-индӣ) ва 2-2 (элемент-элемент) ва таъсири мутақобилаи ҷуфтҳои 1-2 (индӣ-элемент) бошад имконнопазир аст.



Расми 2.2. –Навъҳои мувозинати фазагӣ дар системаҳои бинарӣ:

a-навъи якум, *б*-навъи дуум, *в* ва *г*-навъи сеюм, *д* ва *е*-навъи чорум, *ж* ва *з*-навъи панҷум

Агар гармии атомизатсия ба назар гирифта шавад, он гоҳ энталпияҳои ташаккули бандҳо барои компонентҳои системаҳои индӣро бо дар назар доштани он, ки 1 грамм-мол атомҳои 1-1 ва 2-2 мавҷуд аст, ҳисоб кардан мумкин аст [47, 51].

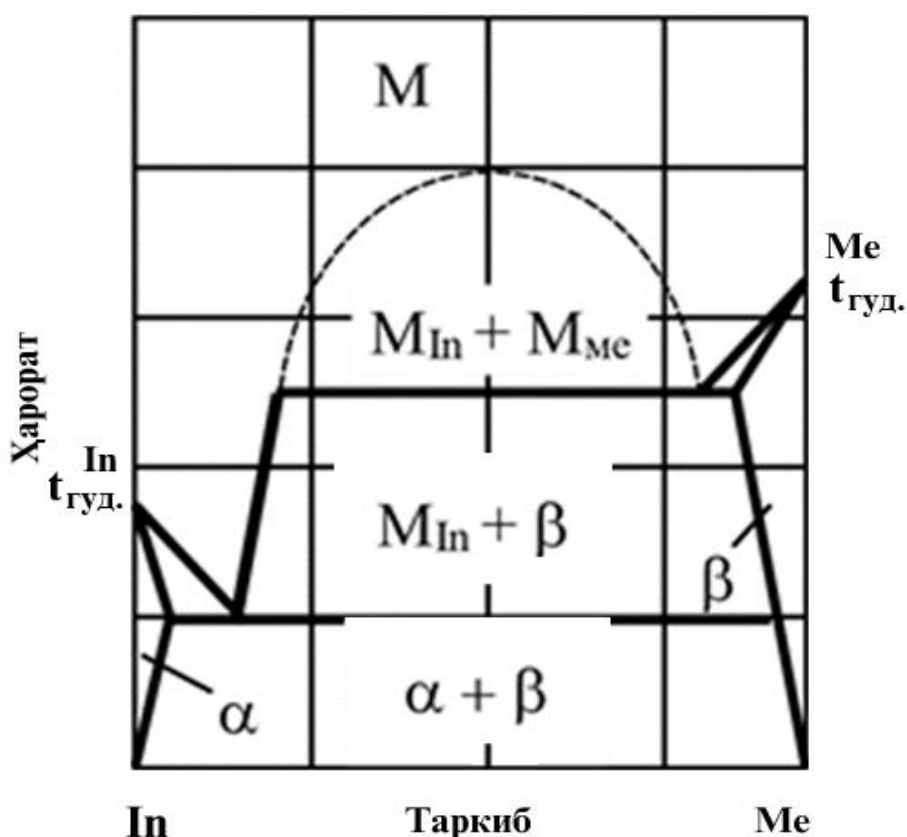
$$-\Delta H_1^{\text{ат.}} = 0.5zN_0H_{11} \text{ ва } -\Delta H_2^{\text{ат.}} = 0.5zN_0H_{22} \quad (2.5)$$

Бинобар ин, бо назардошти муодилаи (2.4) мо ҳосил мекунем:

$$H_{12}zN_0 = Q_{12} - \Delta H_1^{\text{ат.}} - \Delta H_2^{\text{ат.}} \quad (2.6)$$

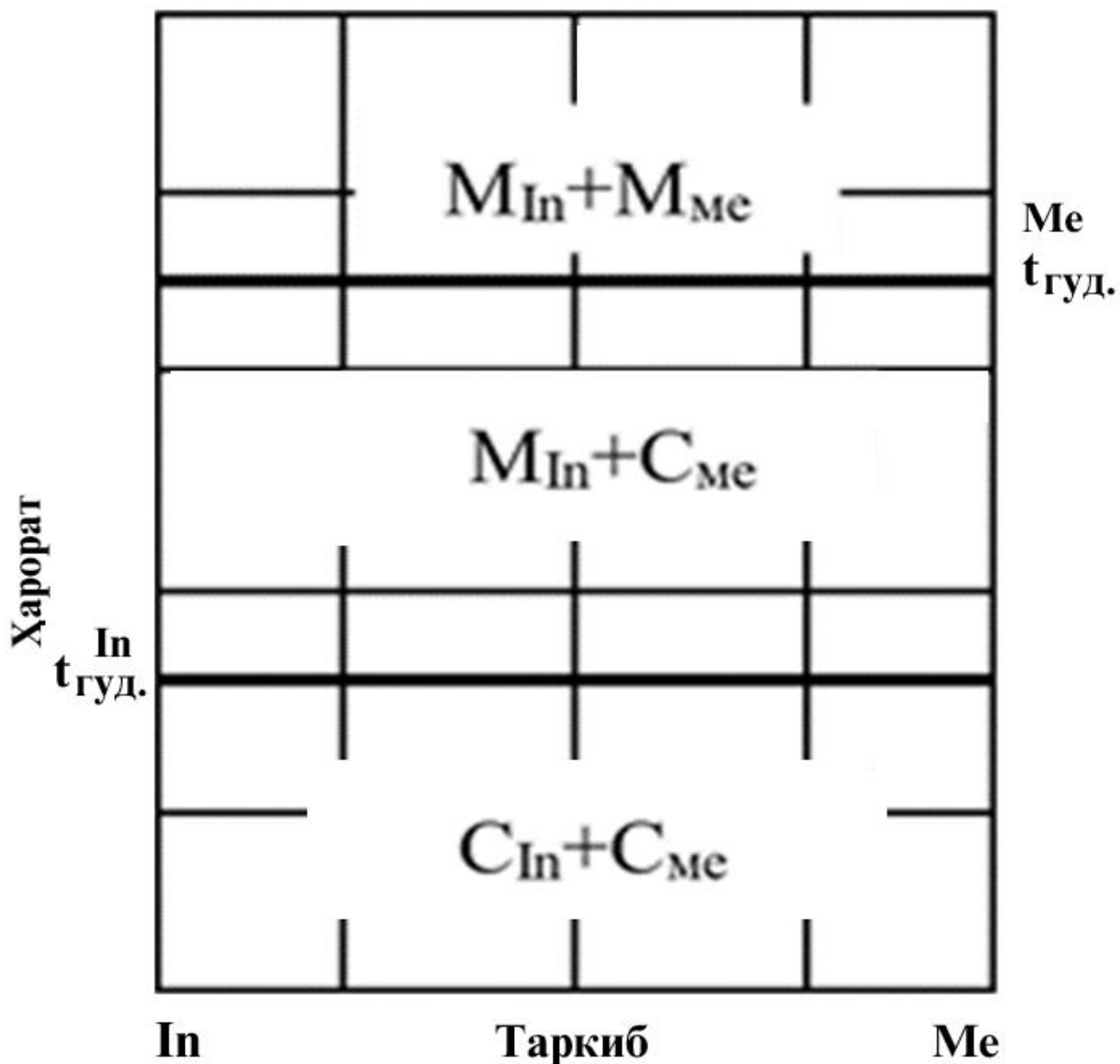
Қиматҳои Q_{12} ва σ_{12} , ки бо муодилаҳои (2.1) - (2.6) ҳисоб карда шудаанд, барои системаҳои индӣ бо дигар элементҳо таҳлил карда шуданд. Намуди умумии диаграммаҳои ҳолатии системаҳо бо арзишҳои мусбати энергияи мубодила дар расмҳои 2.3-2.5 нишон дода шудаанд.

Таҳлилҳои гузаронида шуда нишон дод, ки системаҳои дорои $Q_{12} > 0$ ва $\sigma_{12} \approx 1$ ба системаҳои индӣ бо элементҳои Be, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zr, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Hg ва Np дахл доранд. Диаграммаҳои ҳолатии онҳо бо хусусиятҳои омехта набудани компонентҳо дар ҳолати моеъ ва ҳосил шудани маҳлулҳои маҳдуд дар ҳолати сахт хос аст, яъне дар онҳо намуди монотектикий таъсири мутақобила мушоҳида карда мешавад (расми 2.3).



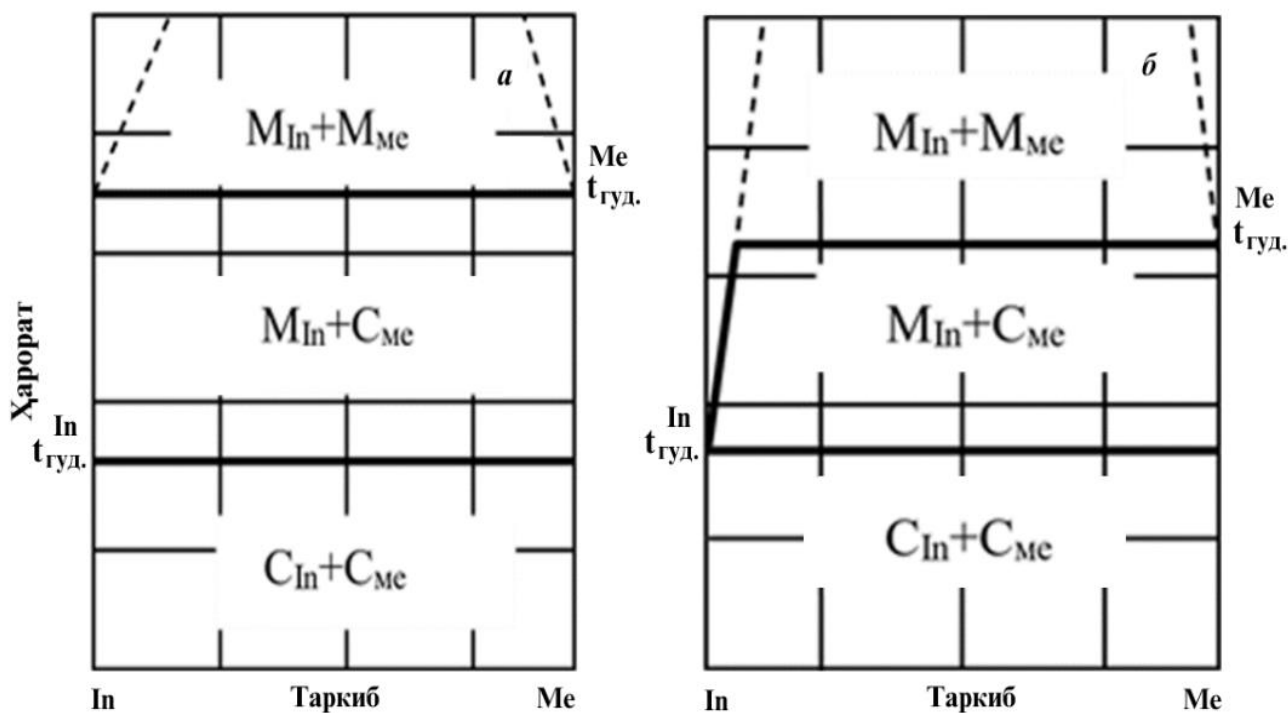
Расми 2.3. – Намуди ба қабатҳо ҷудошавии маҳдуд бо ҳудуди монотектикий дар системаҳои дукомпонентаи индӣ бо дигар элементҳои ҷадвали даврӣ

Ба системаҳои дорой $Q_{12} > 0$ ва $\sigma_{12} \approx -1$ дахл дорад ба системаҳои индӣ бо В, С ва Nb, ки дар онҳо компонентҳо ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати сахт қомилан омехта намешаванд. Дар онҳо ҳангоми хунуқшавӣ аввал кристаллшавии элементҳои зудғудоз, пас душворғудоз мушоҳида карда мешавад (расми 2.4) ҷадвали 2.1 ва расмҳои 2.6-2.11).



Расми 2.4. – Намуди ба қабатҳо ҷудошавии маҳдуд бе ҳосилшавии хӯла дар системаҳои дукомпонентаи индӣ бо дигар элементҳои ҷадвали даврӣ

Агар арзишҳои дараҷаи тартиби кутохмуддат (σ_{12}) ба нуқтаи сифр наздик бошанд, он гоҳ системаҳо бо хусусиятҳои зуҳури намудҳои мобайни ба қабатҳо ҷудошавӣ тавсиф мешаванд (расми 2.5, а, б), ки қисми зиёди онҳо ба таври таҷрибавӣ тасдиқ карда шудаанд [43, 44, 51].



Расми 2.5. – Намудҳои ба қабатҳо ҷудошавии мобайнӣ (*a*, *b*) дар системаҳои дукомпонентаи индий бо дигар элементҳои чадвали даврӣ

Вобаста ба ин, қонуниятҳои муқарраршударо ҳамчун воситаи имконпазири баҳодиҳии арзиши энергияи мубодила бо мақсади санҷиши натиҷаҳои таҷрибавӣ оид ба намудҳои диаграммаҳои ҳолатии индий бо элементҳои ЧД ҳисоб кардан лозим аст.

2.2. Қорқарди схемаи технологӣ ва раванди тозакунии ликватсионии индий аз баъзе ғашҳои мушқилғудоз

Пайвастагиҳои индий дар микроэлектроника ва нанотехнология ба таври васеъ истифода бурда мешаванд, ки барои онҳо тозагии ибтидоии металлҳо ва ҳулаҳо нақши муҳим мебозанд. Тозагии индий аз рӯи таркиб баҳо дода мешавад. Индӣи 99,9999% метавонад ба талаботи техникӣ барои истифода дар саноати электроника мувофиқат кунад. Риояи қатъии таркиби химиявии индий ба сифати маводди аз он ба даст овардашуда таъсири мусбат мерасонад. Индӣи тозагиаш баланд бо усулҳои гуногуни тозакунии, ба монанди тозакунии химиявӣ ва электрохимиявӣ, дистиллятсияи вакуумӣ ва кристаллизатсия (усулҳои физикии кристаллӣ) ҳосил карда мешавад. Масалан, дар шакли хока ба даст овардани индӣи тозагиаш баландро

тавассути табдил додани индийи металлӣ ба хлориди яквалентааш, ки пайдарпай бо бидистиллят ва сипас бо кислотаи сирко коркард мешавад, анҷом додан мумкин аст. Таҳшини бадаст оварда шуда шуста ва хушк карда мешавад. Ин усул [52] аз норасогӣ холи набуда, дар тозагии нисбатан ками хокаи ҳосилшудаи индийи 99,999% (аз рӯйи масса) дар зинаҳои бисёрмарҳилавии равандҳо ба назар мерасад.

Имконияти ба даст овардани индий ва галии тозагаш баланд дар майдони магнитии доимии кундаланг бо усули электротрансфер дар металлҳои моеъ дар кори [53] оварда шудааст.

Таркиби индий дар марҳилаи ниҳоии раванд 99,99999% (аз рӯйи масса) ташкил медиҳад. Ягонагии самаранокии ин усул тозагии метали ибтидоӣ мебошад, ки он аз рӯйи масса бояд на камтар аз 99,999% In-ро ташкил дода, якбора дар баланд шудани арзиши он таъсир мерасонад.

Дар ҳамгироии усулҳои дистиллятсияи вакуумӣ ва минтақаи гудозиши индий бо тозагии 99,91% (аз рӯйи масса) ба даст оварда шуда, маълумот оид ба раванди тоза кардани ғашҳо дар натиҷаи суръати гуногуни бухоршавии компонентҳо, паралеллӣ бо дистиллятсияи буғӣ дар наздикии конденсатсияи ҷойгиршавии ғашҳо, ки дар ҳарорати муайян мегузарад соли 2009 пайдо шуд ва ташаккули технологияи коркарди вакуумӣ-термикии индий муайян гардид [54]. Мувофиқи он, индий аз коркарди думарҳилавӣ мегузарад. Марҳилаи аввали коркарди индий дар ҳарорати 1273-1623 К гузаронида мешавад. Дар рафти он конденсатсияи 3 фраксия ба вучуд меояд. Як фраксия дорои ғашҳои хеле мушкилбухоршаванда (труднолетучие примесей), дуомаш ғашҳои осонбухоршаванда, сеюмаш аз ин ғашҳо холи мебошад. Барои тоза кардани индийи металлӣ, ки дар фраксияи сеюм конденсатсия шудааст, аз ғашҳои миёнабухоршаванда (среднелетучих примесей), марҳилаи дуоми коркарди гармии вакуумӣ гузаронида мешавад. Ҳарорат дар ин раванд то 1373-1473 К баланд карда мешавад.

Маводди ниҳоии ин усули тозакунӣ 99,9999% индий (аз рӯйи масса) мебошад.

Аммо, равандҳои дар боло зикршуда индиро асосан аз чунин ғашҳои элементҳо ба монанди Tl, Cd, Pb, Sn, Cu, Bi ва Ag тоза мекунад. Маълумот дар бораи аз индӣ тоза кардани ғашҳои мушкилгудоз ба монанди Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta мавҷуд набуда, барои коркарди раванди технологияи тоза кардани индӣ аз ин ғашҳо мо равиши илмию назариявиро дар асоси конструкцияи графикаи намуди таъсири мутақобилаи металли асосӣ бо ғашҳо истифода намуда, маълумоти мавҷударо оид ба системаҳои бинарии индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta омӯхтем ва диаграммаҳои ҳолатии онҳоро сохтем [44].

Таҳлили адабиёт [10-12] нишон дод, ки оид ба системаҳои бинарии индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta маълумотҳо маҳдуд буда, инчунин, диаграммаҳои ҳолатиашон сохта нашудаанд. Масалан, таҳлилҳои металлографӣ ва рентгенӣ ифода менамояд, ки дар системаи In-Cr бо 50 ва 75 ат. % индӣ барои ҳароратҳои 1773 К ва 1893 К хулаҳосилшавӣ ва мавҷудияти минтақаи омехтанашавӣ мавҷуд нест. Баъзе аз муҳақиқони дигар ибраз менамоянд, ки дар системаи номбурда чаҳор пайвастагиҳо ҳосил мешаванд. Дар системаи индию молибден бошад, сохтори якфазавии хӯла муайян карда шуда, бо роҳи агломератсия дар гидроген барои ҳарорати 2313 К ва коркарди гармӣ дар 1373 К дар муддати 0,5 соат омода карда шудааст. Ҳалшавандагии хеле маҳдуди 10^{-7} ат. % молибден дар индӣ моеъ дар нуктаи гудохташавии он муқаррар карда шудааст. Дар системаи In-Os таҳқиқотчиён пайдоиши як қатор пайвастагиҳои химиявиро пешгӯӣ намоянд ҳам, вале таъсири мутақобилаи индиро бо осмий дар ҳолати моеъ муқаррар накардаанд. Барои системаи индию родий мавҷудияти минтақаи омехтанашаванда дар моеъ тахмин карда мешавад ва дар ҳолати саҳт ду пайвастагии химиявӣ маълум карда шуда аст, ки яке аз онҳо дар мувозинат бо маҳлули саҳти родий дар индӣ қарор дорад. Дар асоси таҳқиқоти рентгении хӯлаҳои системаи In-Ru дар ҳолати саҳт ҳалшавандагии компонентҳо муқаррар карда шуда, мавҷудияти ду пайвастагӣ ошкор гардидааст. Тибқи маълумоти мавҷуда, таъсири мутақобилаи In ва Ta дар

фазаҳои сахт ва моеъ амалан вучуд надорад. Кӯшиши ба даст овардани хӯлаҳои индий-тантал бо роҳи агломератсия дар ҳарорати 973 К дар давоми се моҳ бебарор буд. Экстраполятсия ба нуқтаи ғудохташавии индий ҳалшавандагии танталро дар индий 10^{-9} ат. % медиҳад.

Барои муқаррар намудани таъсири мутақобилаи пурраи индий бо МГ (хром, молибден, рутений, осмий, родий, тантал) усули баҳодиҳии термодинамикӣ истифода бурда шуд, ки роҳҳои ҳал ва натиҷаҳои он дар зербоби 2.1 ва ҷадвали 2.1 оварда шудаанд. Маълумоти ибтидоӣ барои ҳисоб кардани энергияи мубодила (Q_{12}) ва дараҷаи тартиби кӯтоҳмуддат (σ_{12}) аз маълумотномаҳои махсус гирифта шудаанд [47].

Таҳлили натиҷаҳои бадаст овардашудаи ҷадвали 2.1 нишон медиҳад, ки қиматҳои бузурги мусбати энергияи мубодила дар системаҳои таҳқиқшаванда ҳамчун системаҳоеро тавсиф мекунад, ки байни қисмҳои таркибӣ таъсири мутақобила надоранд. Барои баҳодиҳии яхелаи намудҳои таъсири мутақобилаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар онҳо ба мо истифодаи ҳисобкунии дараҷаи тартиби кӯтоҳмуддат лозим буд, зеро ба қабатҳо ҷудошавии компонентҳо дар ҳолати моеъ ҳангоми сахтшавии онҳо ба намудҳои гуногуни табдилёбӣ оварда мерасонад, ки онро аз расмҳои 2.3 ва 2.5 дидан мумкин аст.

Яке аз навҳои мобайнии ба қабатҳо ҷудошавӣ (расми 2.5, б) дар системаҳои дукомпонента, ки ба гирифтани арзишҳо майл доранд бо $Q_{12} > 0$ ва $\sigma_{12} \approx 0$ муайян карда шуда, омехта нашудани қисмҳои таркибиро дар ҳолати моеъгӣ ва сахтӣ тавсиф мекунад, балки бо ошкор намудани маҳлулҳои хеле маҳдуд (следов компонентов) дар ҳолати сахтӣ ифода мекунад.

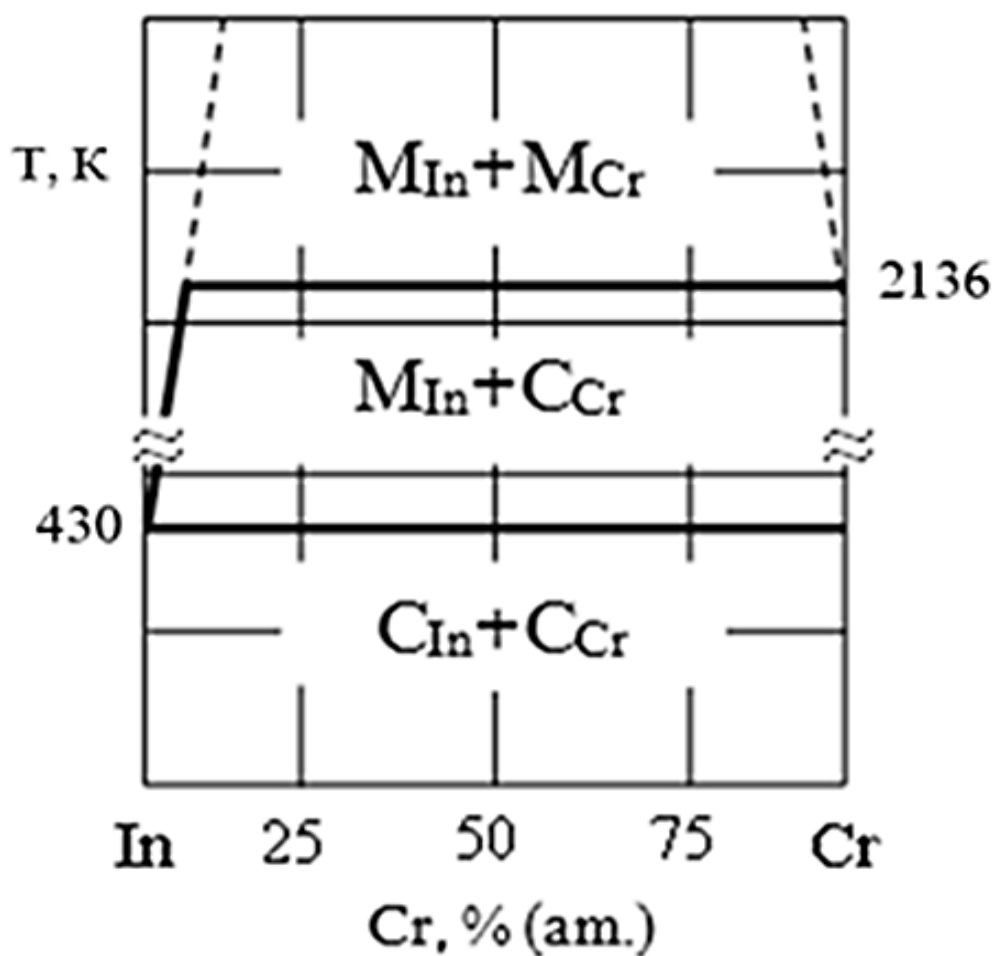
Мувофиқи пешгӯиҳои термодинамикии ҷадвали 2.1 табдилёбии нонвариантии индий дар системаҳои дучандаи индий-хром, индий-молибден, индий-рутений, индий-осмий, индий-родий ва индий-тантал нишон дода шудааст.

Ҷадвали 2.1. –Пешгӯии табдилёбии нонварианти аз тарафи блокҳои индий ва МГ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta)

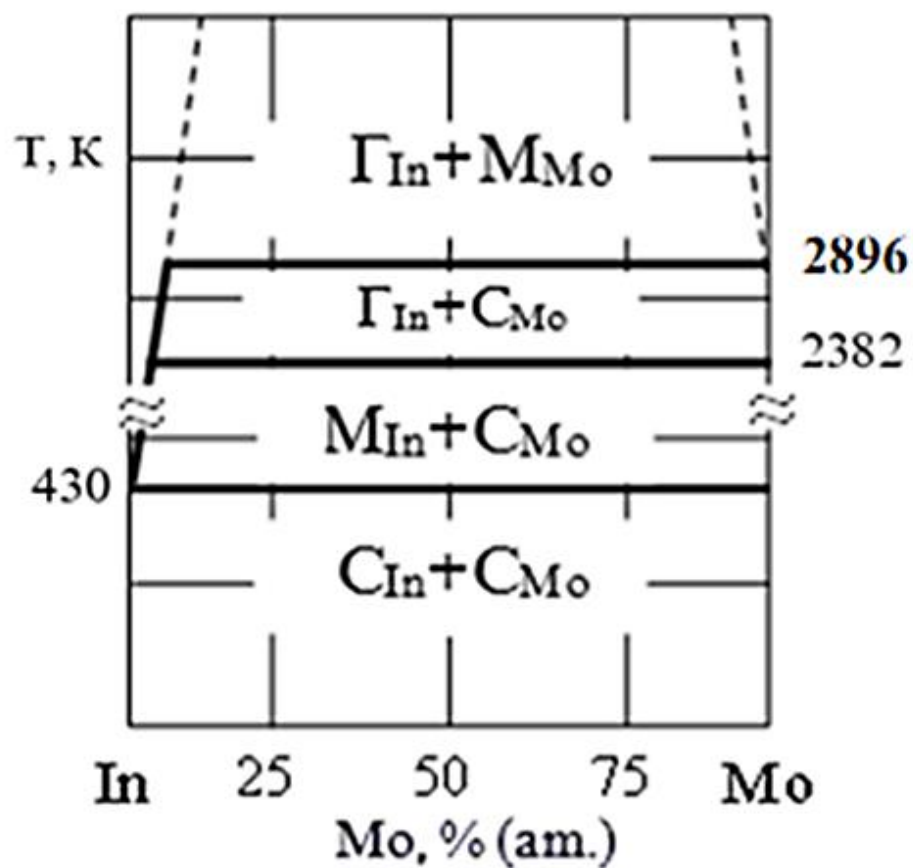
Система	Q ₁₂ , кҶ/Г-ат.	σ ₁₂	Навъи табдилёбӣ			
			Аз тарафи блоки индий		Аз тарафи блоки МГ	
			Ҳисоб.	Таҷр.	Ҳисоб.	Таҷр.
In-Cr	106.1	0.93	М	О	М	О
In-Mo	238.1	0.86	М	О	М	О
In-Ru	192.9	0.99	М	О	М	О
In-Os	235.3	0.99	М	О	М	О
In-Rh	118.5	0.99	М	О	М	О
In-Ta	3011	0.85	М	О	М	О

Эзоҳ: М- монотектика; О - маълумот дастрас нест.

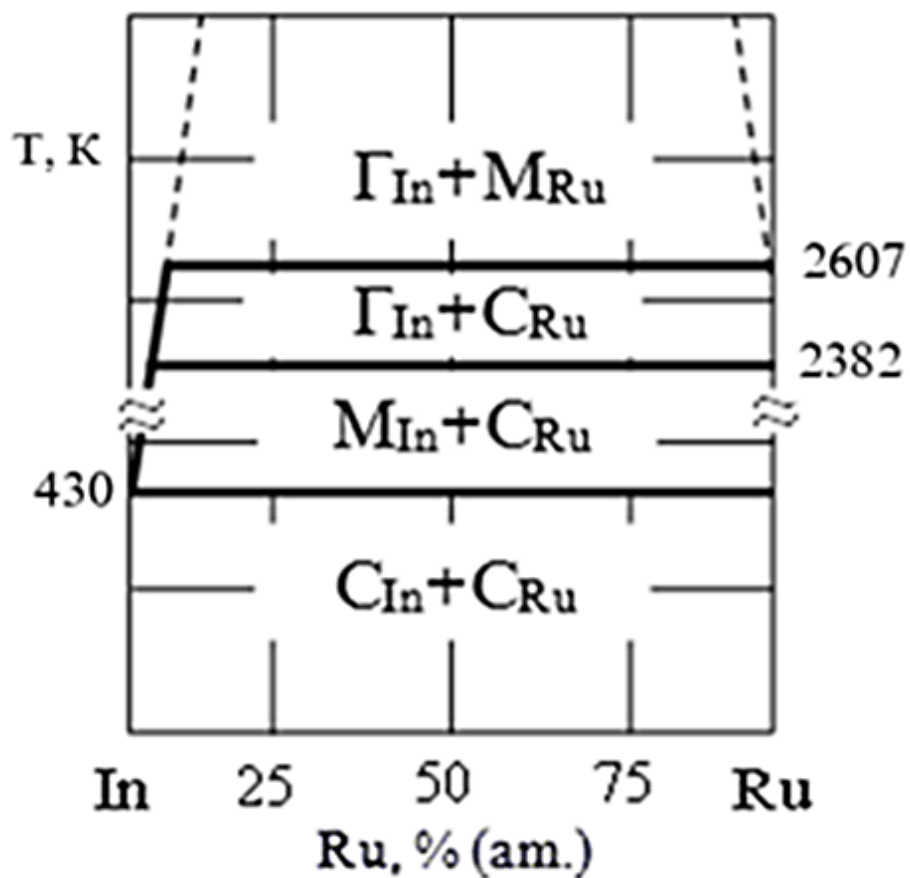
Гузариши арзиши термодинамикии таъсири мутақобила дар системаҳои In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta имконият дод, ки диаграммаҳои ҳолати онҳо сохта шаванд (расмҳои 2.6 - 2.11).



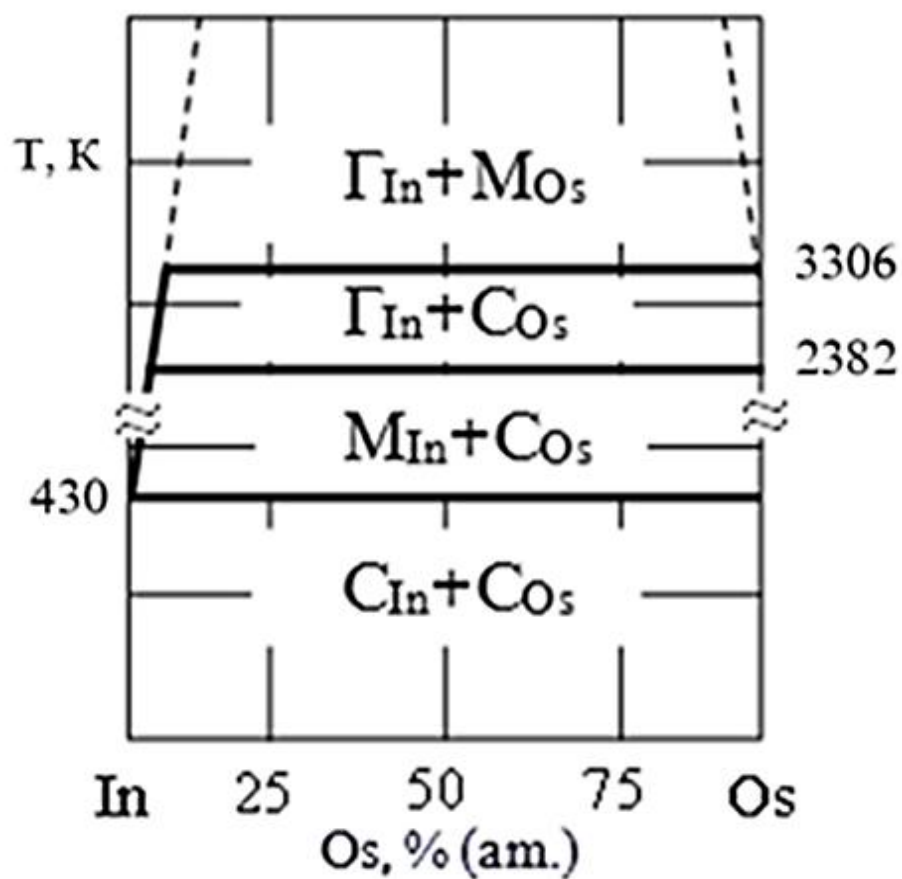
Расми 2.6. –Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Cr



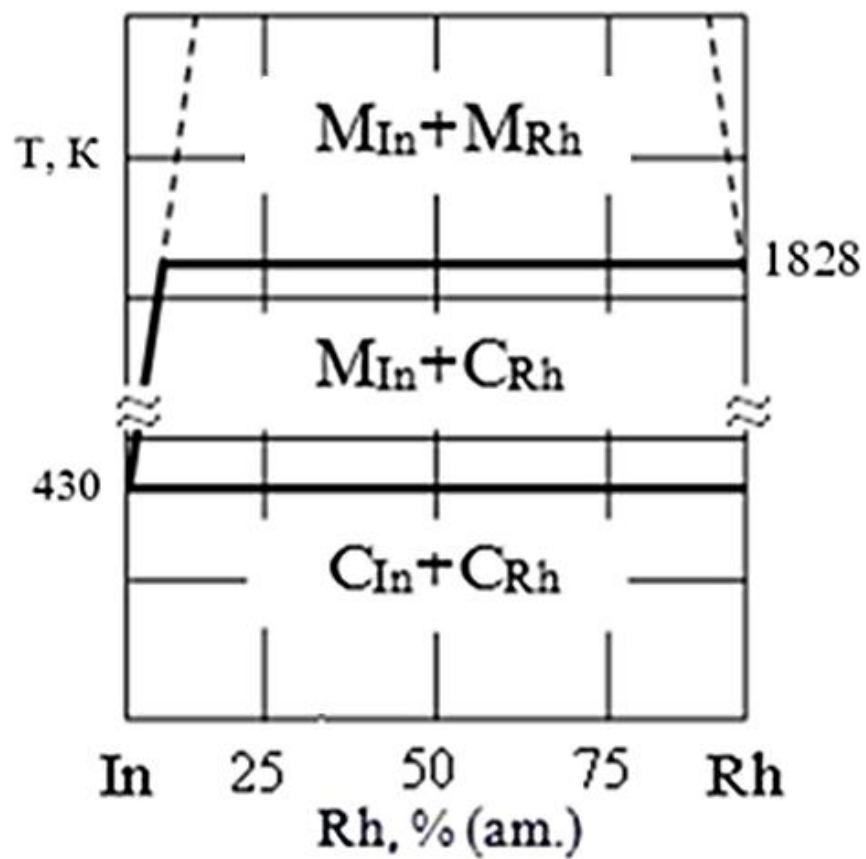
Расми 2.7. – Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Mo



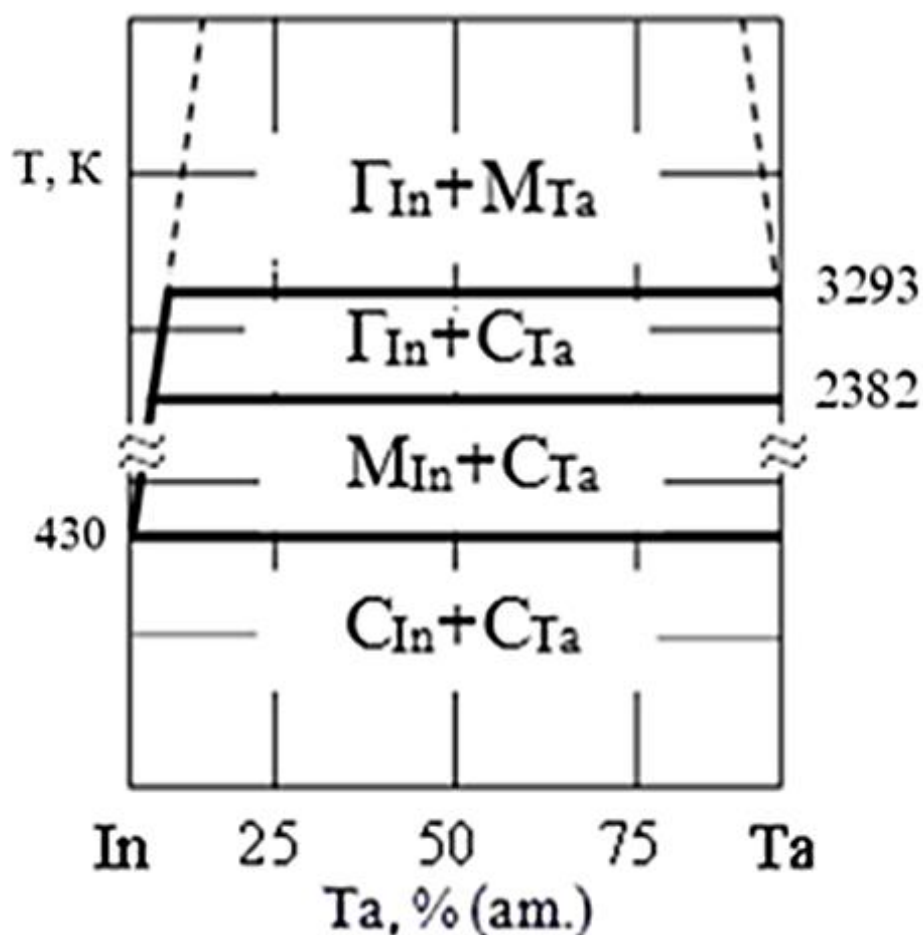
Расми 2.8. – Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Ru



Расми 2.9. – Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Os



Расми 2.10. – Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Rh



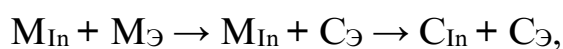
Расми 2.11. – Диаграммаи ҳолатии системаи дучандаи In-Ta

Диаграммаҳои ҳолатии системаҳои омӯхташудаи In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta, ки дар расмҳои 2.6-2.11 оварда шудаанд, мавҷуд набудани омехташавии байни компонентҳо дар ҳолати моеъ ва сахро нишон медиҳанд, аммо ҳангоми кристаллизатсия дар онҳо мумкин аст маҳлулҳои саҳти хеле маҳдуд пайдо шаванд. Тағйирёбии нонварианти дар онҳо эҳтимоли таназул дорад ва пайдоиши пайвастагиҳои интерметаллӣ ё фазаҳои мобайнӣ эҳтимоли кам дорад. Дар диаграммаҳои дучандаи ҳолатии сохта шудаи In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta ординати индӣ ҳарорати 430 K ба нуқтаи гудохташавии он мувофиқат мекунад. Дар тарафи ординатаҳои компоненти дуюм ҳароратҳои 2136 K, 2896 K, 2607 K, 3306 K, 1828 K ва 3293 K оварда шудааст, ки онҳо ҳароратҳои гудохташавии металлҳои мушкилгудози Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta мебошанд. Ҳарорати 2382 K бошад нуқтаи чӯшиши индӣро ифода мекунад. На аз тарафи индӣ ва на аз тарафи компонентҳои дуюм дар системаҳо тағйироти аллотропӣ

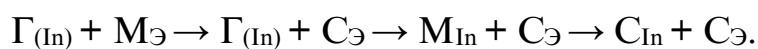
мушохида карда намешавад. Натиҷаҳои баҳодиҳии термодинамикии таъсири мутақобила дар системаҳои пурра омӯхтанашудаи In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta гирифта шуда, бори аввал диаграммаҳои ҳолатии онҳо пурра сохта шудаанд [55], ки ҳангоми коркарди технологияи ба даст овардани материалҳои дорои хосиятҳои баланди зиддифриксионӣ барои дастгоҳҳои энергетикӣ ҳастаии техникаи атомӣ [56], инчунин, хӯлаҳои, ки дар корҳои заргарӣ ва рехтагарӣ истифода мешаванд. Ғайр аз ин, ин маълумотҳо оид ба таъсири мутақобила ва роҳҳои истифодабарии ликватсионии тозакунии ин ғашҳои мушкилгудоз ва ба даст овардани индӣи дараҷаи тозагиаш баланди то 6N-ро муайян мекунад.

Рушди ақидаи мазкур имконият дод, ки коркарди схемаҳои тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушкилгудоз ба монанди Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta-ро ба вучуд орем [57]. Аз схемаҳо дидан мумкин аст, ки дар системаҳои In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta тозакунии ликватсионӣ-кристаллизатсионии тозакунии бо тағйир додани ҳалшавандагии компонентҳои система ва ба қабатҳо ҷудошавии онҳо ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати сахт аз рӯйи зичии фазаҳои ҳосилшуда ба амал меояд.

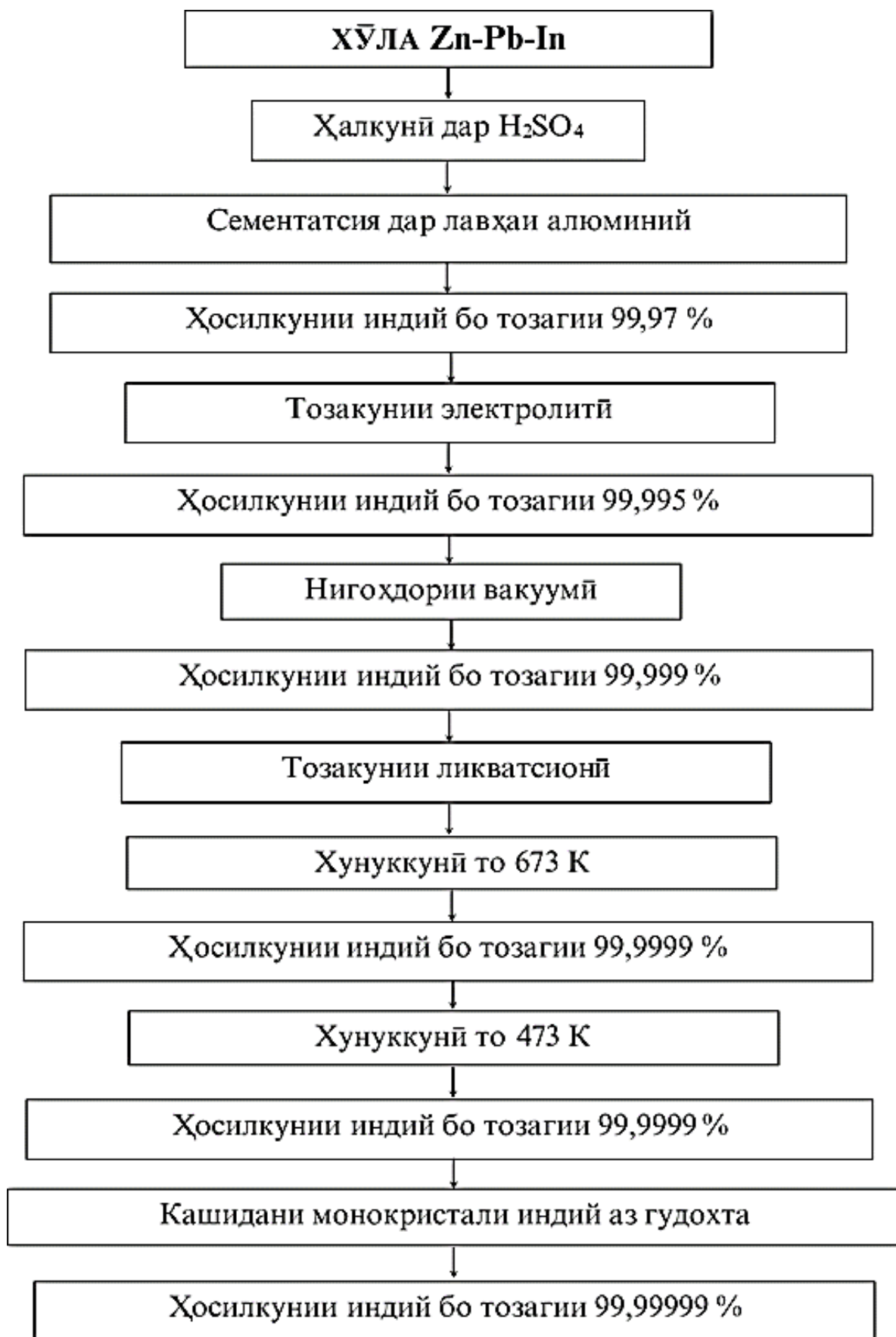
Масалан, барои системаҳои In-Э (Э-Cr, Rh) чунин раванд аз рӯйи схемаи зерин амалӣ карда мешавад, ки дар ин ҷо M-ҳолати моеъ, C-ҳолати сахт ва Г-ҳолати газӣ мебошад:



барои системаҳои In-Э (Э - Mo, Ru, Os, Ta) аз рӯйи схемаи:



Маълум аст, ки барои гирифтани индӣи дараҷаи тозагиаш махсус [1-4] одатан усулҳои комплекси тозакунии, ки равандҳои химиявӣ, электрохимиявӣ ва кристаллизатсиониро дар бар мегиранд, истифода карда мешаванд. Дар расми 2.12 схемаи технологияи коркард ва гирифтани дараҷаи гуногуни тозагии индӣ оварда шудааст, ки барои татбиқи он дар истеҳсолот пешниҳод мегардад.



Расми 2.12. –Схемаи технологии ҳосилкунии индийи дараҷаи тозагиаш гуногун

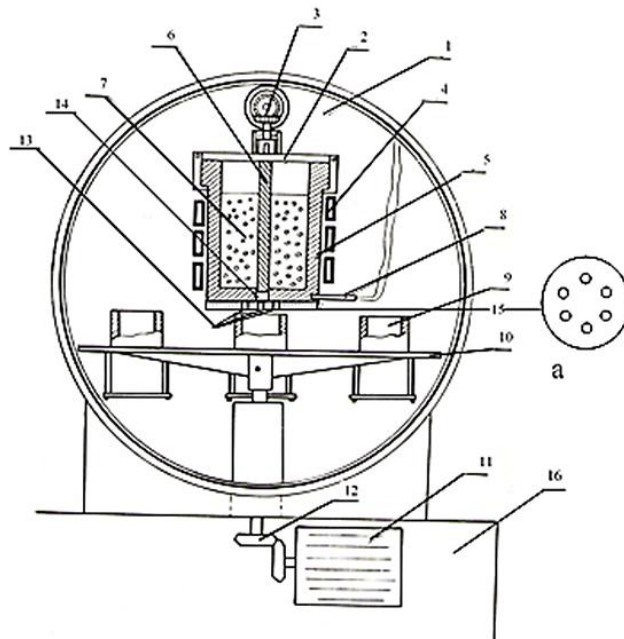
Ашӯи хоми ибтидоӣ барои ба даст овардани индӣи дараҷаи тозагиаш баланд, метавон хӯлаи сечандаи руҳ, сурб ва индӣро гирифт, ки пас аз коркарди концентратҳои руҳ ва сурб ба даст оварда мешавад. Ҳалқунии хӯла дар маҳлули сероби кислотаи сулфат амалӣ мегардад. Сипас аз маҳлул индӣи металлӣ бо роҳи сементкунӣ дар лавҳаи руҳ ё алюминий ҷудо карда мешавад ва индӣ бо тозагии 99.97% In ҳосил карда мешавад (ниг. ҷадвал. 2.2), ки дар муҳити электролити хлориди натрий тоза карда мешавад. Ин раванд дар ҳарорати 313 К бо зичии ҷараёни то 215 а/м² бо баромади ҷараён дар катод қариб то 100% гузаронида мешавад. Анод ва катодро одатан аз индӣи тозагии баланди техникӣ истеҳсол мекунанд. Дар натиҷаи тозакунии электролитӣ индӣ бо тозагии 99,995% ба даст оварда мешавад.

Ҷадвали 2.2. –Таркиби химиявӣ намунаи индӣ In₂

Асосӣ	Ғашҳо, на зиёда (%)																
	In	Fe	Cd	Cu	As	Ni	Sn	Hg	Pb	Tl	Zn	Cr	Mo	Ru	Os	Rh	Ta
	99.97	5·10 ⁻³	4·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻³	1·10 ⁻⁵	2·10 ⁻³	5·10 ⁻³	5·10 ⁻³	1·10 ⁻³	3·10 ⁻²	3·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶

Барои тозакунии минбаъда, тавсия менамоем, ки дастгоҳи вакуумӣ [58] истифода бурда шавад (расми 2.13), ки он имкон медиҳад индӣ бо гармидиҳӣ ва дистиллятсия пас аз тозакунии ликватсионӣ дар як давра бе вайрон кардани раванди технологӣ гузаронида шавад. Ҳангоми нигоҳ доштани вакуум газҳои боқимонда ва омехтаҳои зудбухоршаванда (Cd, Zn, Mg, Pb, Sn, Na, K, S, P ва ғайра) хориҷ карда мешаванд.

Ҷиҳати ҳолис гардонидани индӣ аз элементҳои мушқилбухоршаванда (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta) тозакунии ликватсионӣ, дар асоси диаграммаҳои ҳолатӣ, ки дар натиҷаи иҷрои кори мазкур сохта шудаанд, гузаронида шавад. Гузариши онҳо вобаста ба ҳарорат (ниг. расмҳои 2.6-2.11) оварда шудааст.



Расми 2.13. –Схемаи қисми қории дастгоҳи вакуумӣ бо гармкунаки индуксионӣ:
 1-ҳачми қории камераи вакуумӣ; 2-нигоҳдораки зарфҳои гуногун; 3-танзимкунаки сурохигии холиқунӣ, 4-индуктор; 5-зарфи холиқунанда; 6-штоки графитӣ; 7-гудохта; 8-темопара; 9-стакон; 10-майдони гардиш; 11-муҳарриқи барқӣ; 12-шестернаи конусӣ; 13-суроҳӣ; 14-суроҳии холиқунанда; 15-шибер; а-тақсимкунак; 16-тақягоҳ

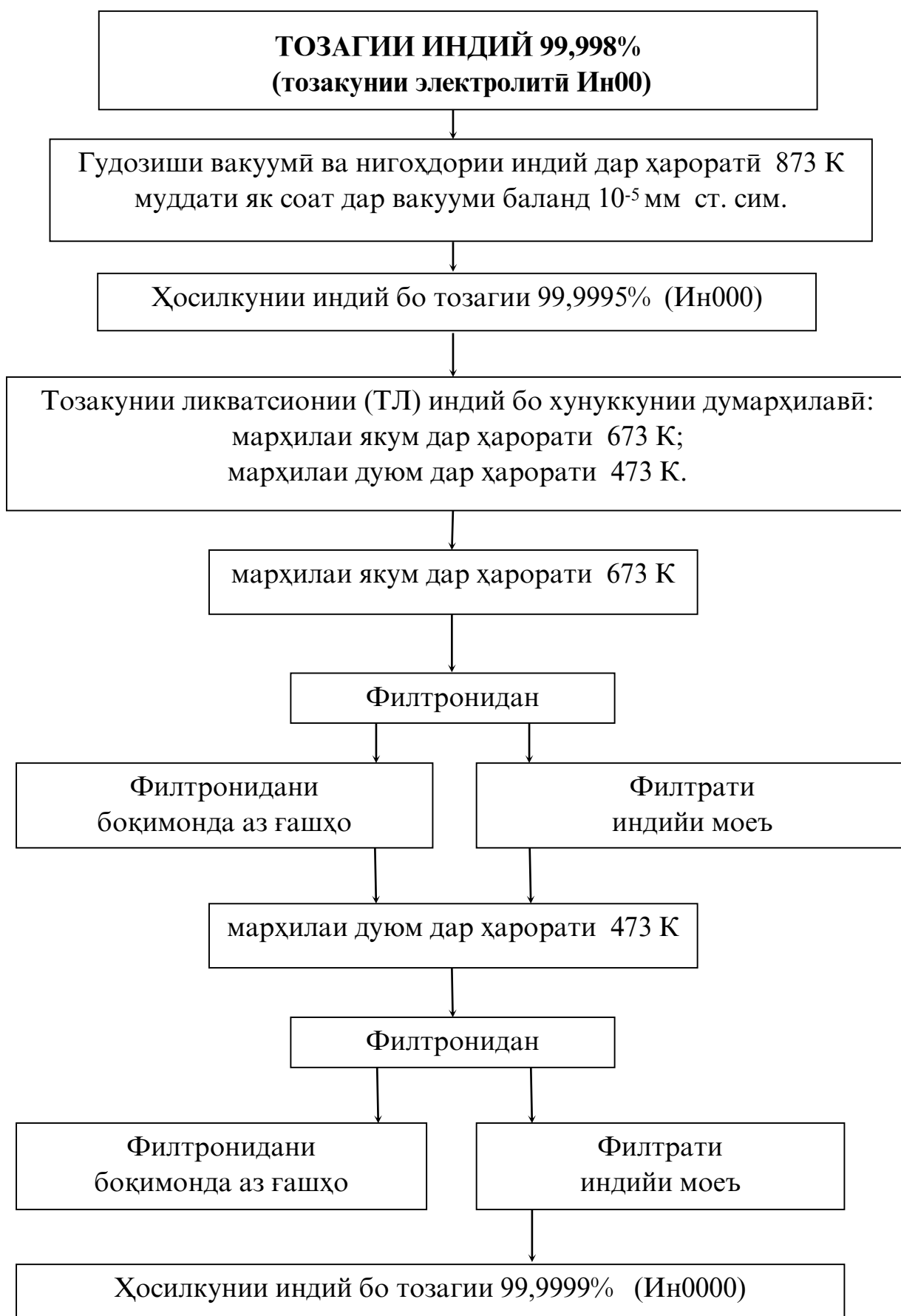
Аз ин бармеояд, ки консентратсияи компонентҳои хеле кам ҳалшавандаи мушкилгудоз бо паст шудани ҳарорат то 473 К ва миқдори ҳадди ниҳоии онҳо то $5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$ коҳиш меёбад. Дар натиҷаи хунуккунӣ, ғашҳои мушкилгудоз дар шакли кристаллҳои аввалия аз индӣ ҷудо шуда, баъди рехтани индӣ моеъ ба зарф (стакон) дар тигл боқӣ мемонанд. Дар ин ҳолат, индӣ моеъ филтрат шуда ба таври муқаррарӣ-самтӣ (нормально нааправлено кристаллизации) кристаллизатсия мешавад. Барои гирифтани индӣ монокристаллӣ кашидани кристалл аз гудохта аз рӯи усули Чохралӣ истифода бурда мешавад. Схемаҳои пешниҳодшудаи равандҳои технологии ба даст овардан ва тозакунии индӣ, инчунин, дастгоҳи тозакунии ликватсионӣ бо мақсади татбиқи онҳо бо содагии техникӣ, мувофиқ барои қор бо вазни гуногуни маводди ибтидоӣ аз 2 то 8 кг. фарқ мекунанд ва метавонанд дар истехсоли тозагии индӣ нимноқилӣ истифода шаванд. Шарҳи равандҳои нигоҳдории вакуумӣ ва тозакунии ликватсионии индӣ дар ин ҷо оварда шудааст. Ба сифати ашёи хоми ибтидоӣ (ниг. расми 2.14) индӣ тозашудаи электролитӣ бо тозагии 99,998% истифода шудааст. Нигоҳ доштани гудохтаи индӣ дар вакуум

давоми як соат имкон медиҳад, ки миқдори ғашҳое, ки фишори буғи онҳо нисбат ба индӣи баландтар аст, 2-3 дараҷа кам карда шавад. Концентратсияи баъзеи онҳо (Li, Na, Cs, Mg, Zn, Cd, Se, Te, As, Hg) аз ҳадди ошкор кардани усулҳои таҳлили истифодашуда камтар мешавад. Баъд аз ба итмом расидани нигоҳдории вакуумӣ, ба қатъ кардани равиши протсессии технологияи тозакунии, ба даври навбатии тозакунии индӣи - тозакунии ликватсионии металлҳои гудохта бо роҳи мунтазам паст кардани ҳарорат оғоз меёбад. Ҳарорати гармӣ аз 873 К зина ба зина дар 323 К бо суръатҳои 275,3-75,5 К/дақ. то ҳарорати 673 К ва 273,5 К/дақ. то 473 К паст карда мешавад. Ҳангоми хунук кардани индӣи моеъ, ғашҳои мушқилгудоз тадриҷан дар шакли кристаллҳои якумдараҷа ҷудо мешаванд ва моеъи индӣи ба сатҳи болои он мебарояд. Ҳамин тавр зичии кристаллҳои компонентҳои мушқилгудоз аз зичии индӣи зиёдтар аст. Индӣи тозашуда то 99,9999% баъд аз филтронидан ба зарфҳои пӯлодини зангназананда рехта мешавад. Маълумот оид ба таркиби химиявии намунаҳои гирифта шуда аз индӣи бо дараҷаҳои гуногуни тозагӣ дар ҷадвали 2.3 оварда шудааст.

Ҷадвали 2.3. –Таркиби химиявии намунаҳо аз индӣи ва дараҷаҳои гуногуни тозагӣ

Асосӣ	Ғашҳо, на зиёда (%)															
	In	Fe	Cd	Cu	As	Ni	Sn	Hg	Pb	Tl	Zn	Cr	Mo	Ru	Os	Rh
99,998	1·10 ⁻³	3·10 ⁻⁵	4·10 ⁻⁶	1·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁴	2·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶
99,9995	2·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁶	8·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁵	5·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	3·10 ⁻⁶	2·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶
99,9999	2·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵	-	-	-	-	-	-

Назорати муҳтавои макро- ва микрокомпонентҳои намунаҳо дар микроспектрометри флуоресентии рентгении Спектромидекси истеҳсоли Олмон ва квантометри муосири спектрии «SpectroLab M» гузаронида шуд. Раванди коркард ва схемаи технологияи тозакунии ликватсионӣ аз ғашҳои мушқилгудоз, инчунин, ҳосилкунии индӣи тозагӣ махсус барои истифода дар истеҳсолот тавсия карда мешавад. Манфиатҳои пешакии иқтисодии солоне барои истеҳсоли як тонна индӣи 1833900 сомонӣ (як миллиону ҳашсаду сию се ҳазору нӯхсад сомонӣ) ҳисоб карда шудааст.



Расми 2.14. –Схемаи технологии нигоҳдории вакуумї ва тозакунии ликватсионї хангоми гирифтани индийи дараҷаи тозагиаш баланд

2.3. Ҳисоби фаъолияти термодинамикӣ ва энергияи озоди Гиббс дар компонентҳои хӯлаҳои дучандаи индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te) дар ҳолати моеъӣ

Маълум аст, ки хӯлаҳо кайҳо боз бо роҳи легиронӣ (илова кардан) ба даст оварда мешаванд. Барои ин раванд маълумотҳо оид ба натиҷаҳои халшавандагӣ дар ҳолати моеъ ва саҳт аз диаграммаҳои гудохташавии сохташуда ва ҳосиятҳои маълуми термодинамикӣ истифода бурда мешаванд.

Дар қори диссертатсионии мазкур диаграммаҳои ҳолати системаҳои дучандаи индӣ-сулфур, индӣ-селен ва индӣ-теллур сохта шудаанд [9-12]. Дар онҳо минтақаҳои маҳлулҳои ҳудуди моеъ, саҳт, эвтектикӣ (эвтектоид, перитектикӣ ва перитектоид барои системаҳои дучандаи индӣ бо селен ва теллур) ва мувозинати монотектикӣ муқаррар карда шудааст. Индӣ бо ин элементҳо, инчунин, халкогенидҳо - пайвастиҳои химиявиро ҳосил мекунанд, ки ҳосиятҳои нимноқилӣ дошта, дар техники электронӣ васеъ истифода мешаванд.

Ҳусусиятҳои стандартии термодинамикии хӯлаҳои системаҳои индӣ бо халкогенҳо (сулфур, селен, теллур) барои пайвастиҳои химиявӣ ба таври таҷрибавӣ муайян карда шуданд [59-60]. Аммо оид ба ҳосиятҳои термодинамикии системаҳои болозикр маълумоте мавҷуд нест, ҳол он ки ҳусусияти таъсири мутақобилаи индӣ бо халкогенҳо дар ҳолати моеъ дар ҳарорати монотектикӣ аҳамияти зарурӣ дорад. Ҳосиятҳои термодинамикӣ барои омӯзиши бисёр ҳосиятҳои дигари физико-химиявӣ асос мебошанд [59].

Дар қори мазкур кӯшиш карда шуд, ки методикаи ҳисобкунӣ барои муайян намудани бузургиҳои зикршуда аз диаграммаҳои ҳолатии сохташуда истифода гардад.

Барои ҳисоб кардани энергияи Гиббс (ΔG) дониستاني энталпия (ΔH) ва энтропия (ΔS)-и ҳосилшавии маҳлулро зарур аст.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.7)$$

Саҳми калонро дар энергияи Гиббс энталпияи ташаккул, ки қариб ҳамеша аз суммаи энталпияҳои компонентҳо (ΔH_i^0) бо бузургии гармии омехта (ΔH^{cm}) фарқ мекунад [59], дорад:

$$\Delta H = \Delta H_1^0 x_1 + \Delta H_2^0 x_2 + \Delta H^{cm} \quad (2.8)$$

Вобастагии концентратсияи гармии омехта аксар вақт бо параболаи симметрӣ тавсиф карда мешавад.

$$\Delta H^{cm} = x_1 x_2 Q_{12}, \quad (2.9)$$

ки дар ин ҷо x - ҳиссаҳои атомӣ ва Q_{12} - энергияи мубодила [50] аст, ки афзоиши миёнаи энергияи як молекулаи ин ё он намудро ҳангоми иваз шудани ҳамаи молекулаҳои наздики он бо молекулаҳои намуди дигар иваз мекунад. Ин наздикшавии маҳлулҳои регулярий имкон медиҳад, ки ҳудуди ҳалшавандагии мутақобила муайян карда шавад. Аммо шумораи зиёди системаҳои мавҷуданд, ки дар онҳо гармии омехта нисбат ба таркиби $x_1 = x_2 = 0,5$ асимметрӣ аст. Асимметрия метавонад ба вайрон шудани панҷараи кристаллӣ аз ҳисоби андозаҳои гуногуни металли ҳалкунанда ва компоненти ҳалшаванда бошад, ки ба энергияи маҳлул тавассути ҷорӣ намудани энергияи таҳриф (энергии искажения) мусоидат мекунад. Назарияи маҳлулҳои регулярий барои тавсиф намудани системаҳои дидашавандаи ҳӯлаҳои индӣ бо ҳалкогенҳо татбиқ намешаванд. [50], зеро дар ин системаҳо таъсири саҳти мутақобилаи компонентҳо мушоҳида мешавад, ки боиси ҳосилшавии омехтаи механикӣ, пайвастагиҳои химиявӣ ва омехташавии минтақавӣ ба қабатҳо ҷудошавӣ дар диаграммаҳои ҳолати мавҷуда ба тарафи индӣ [9-12] мегардад.

Дар чунин системаҳо асимметрияи назарраси хосиятҳои термодинамикӣ мушоҳида мешавад.

Ин гуна мавридҳоро бо назардошти илова намудани энергияи маҳлули бинарӣ [59] ба даст меорем:

$$\Delta G = \Delta G_1^0 x_1 + \Delta G_2^0 x_2 + x_1 x_2 Q_1 + x_1 x_2^2 Q_2 + RT (x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2), \quad (2.10)$$

ки дар ин чо Q_1 ва Q_2 константаҳои мутақобилаи байнизарраҳо мебошанд ва онҳоро вобаста ба ҳарорат аз ҳад зиёд ҳисоб кардан мумкин аст. Аз ин муодила қиматҳои миқдорҳои қисман ва интегралӣ гирифта мешаванд.

Барои потенциали химиявии компонентҳо (μ_1 ва μ_2) мо аз муодилаҳои зерин истифода бурдем:

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln x_1 + x_2^2 (Q_1 - Q_2) + 2x_2^3 Q_2 \quad (2.11)$$

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln x_2 + x_1^2 (Q_1 + 2Q_2) - 2x_1^3 Q_2 \quad (2.12)$$

Бо ёрии муодилаҳои (2.10) ва (2.12) ба таври қаноатбахш тасвир кардани хосиятҳои термодинамикии ҳулаҳои системаҳои индий-халкогенҳоро мумкин аст. Дар ҳолати мувозинат потенциали химиявии компонентҳо баробар аст [51]:

$$\mu'_1 = \mu''_1 \text{ ва } \mu'_2 = \mu''_2, \quad (2.13)$$

дар ин чо штрихҳо рақами фазаҳоро ва индексҳои поён бошад рақами компонентҳоро нишон медиҳанд. Биёед, индиро ҳамчун компоненти аввал ҳисоб мекунем. Бо назардошти муодилаҳои (2.11) ва (2.12) мо дорем:

$$RT \ln x_1''/x_1' + [(x_2'')^2 - (x_2')^2] (Q_1 - Q_2) + 2Q_2 [(x_2'')^3 - (x_2')^3] = 0 \quad (2.14)$$

$$RT \ln x_2''/x_2' + [(x_1'')^2 - (x_1')^2] (Q_1 + 2Q_2) - 2Q_2 [(x_1'')^3 - (x_1')^3] = 0, \quad (2.15)$$

ки дар ин чо R - доимии универсалии газӣ; T - ҳарорати мутлақ;
 $x_1' + x_2' = 1$ ва $x_1'' + x_2'' = 1$ ва x - қиматҳои ҳисаҳои атомӣ мебошанд.

Ҳисобҳои константаҳои Q_1 ва Q_2 -и таъсири мутақобилаи байнизарраҳо аз рӯи диаграммаҳои мувозинати фазагии системаҳои индий-халкогенҳо гузаронида шуданд. Пас аз ҳалли якҷояи (2.14) ва (2.15) барои ҳисоб намудани коэффитсиентҳои термодинамикии фаъолнокии компонентҳо дар системаҳои индию халкоген муодилаҳо гирифта шуданд. Маълумоти ибтидоӣ [9-12] ва муодилаҳои ҳосилшуда дар ҷадвали 2.4 нишон дода шудаанд.

Хатҳои қачи ҳисобшудаи фаъолнокии термодинамикии компонентҳои ин системаҳо бо назардошти $a = fx$ дар ҳарорати мувозинати монотектикӣ дар расми 2.15 нишон дода шудаанд. Дидан мумкин аст, ки фаъолнокии индий ва халкогенҳо бо тағйирёбии аломати моил ба қачравӣ

(знакопеременным отклонением) аз қонунҳои маҳлулҳои идеалӣ, яъне дар онҳо асимметрияи назарраси ҳосиятҳо вучуд дорад. Дар ин системаҳо вобаста ба консентратсияи моил ба қачравӣ аз тарафи мусбат ва ҳам аз тарафи манфӣ аз қонуни Раул мушоҳида карда мешавад.

Ҷадвали 2.4. –Ҳисобҳои константаҳои таъсири мутақобилаи байнизарраҳо ва муодилаҳо барои коэффитсиенти фаъолнокии компонентҳо дар системаҳои индий-халкогенҳо

Система	Т _м , К	Таркиби фазаҳо, ат. ҳиссаҳо		Q ₁	Q ₂	Муодилаҳо
		x ₂ '	x ₂ ''			
In-S	911	0.070	0.370	13317	-40107	ln f _{In} = 7.05 (1-x _{In}) ² - 10.59 (1-x _{In}) ² ln f _S = -8.83 (1-x _S) ² + 10.59 (1-x _S) ²
In-Se	793	0.070	0.290	-863	-58841	ln f _{In} = 8.79 (1-x _{In}) ² - 17.85 (1-x _{In}) ² ln f _{Se} = -17.98 (1-x _{Se}) ² + 17.85 (1-x _{Se}) ²
In-Te	696	0.039	0.312	-15659	-88104	ln f _{In} = 12.52 (1-x _{In}) ² - 30.45 (1-x _{In}) ² ln f _{Te} = -33.16 (1-x _{Te}) ² + 30.45 (1-x _{Te}) ²

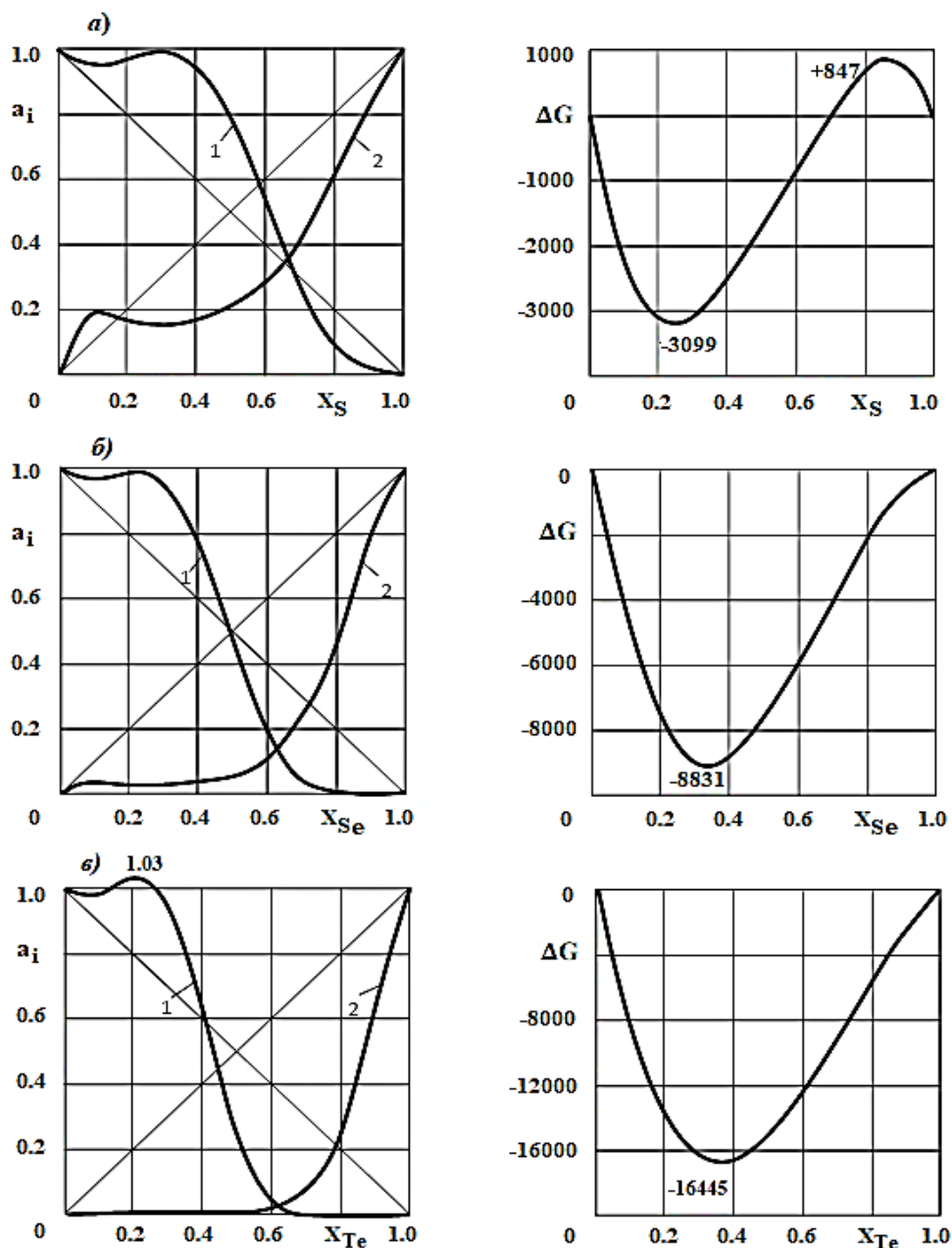
Барои онҳо бо зиёд шудани таркиби компонентҳои дуҷум дар ҳулаҳо қачравҳои калони манфии фаъолияти онҳо мушоҳида мешавад. Ин ба афзоиши таъсири мутақобилаи байнизарраҳои байни компонентҳо мувофиқат намуда, боиси пайдоиши гурӯҳҳои структурӣ дар шакли омехтаҳои механикии эвтектикӣ ва пайвастиҳои химиявӣ мегардад. Бо пайдо шудани ҳалшавандагии маҳдуди сулфур, селен ва теллур дар индий ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати сахтӣ майдони тағйирёбии фаъолнокии индийро дар консентратсияи пасти компонентҳои дуҷум нишон медиҳад.

Энергияи озоди зиёдатии Гиббсро аз ҳулаҳои системаҳои индий-сулфур, индий-селен ва индий-теллур аз рӯйи муодила ҳисоб кардан мумкин аст (бо роҳи баробар кардани қимати гармии омехта $\Delta G = \Delta H \neq 0$):

$$\Delta G = x_1 x_2 Q_1 + x_1 x_2^2 Q_2. \quad (2.16)$$

Дар расми 2.15 натиҷаҳои ҳисобҳо аз рӯйи муодилаи (2.16) оварда шудааст. Дидан мумкин аст, ки ҳалшавии сулфур, селен ва теллур дар индийи моеъ дар минтақаи таркибҳои аз индий бой ба таври экзотермикӣ мегузарад, яъне бо баровардани гармӣ ва максималӣ ҳангоми $x_2 = 0,25; 0,35$ ва $0,38$ баробар ба $-3099; -8831$ ва -16445 Ҷ/Г-ат мувофиқат мекунад.

Ҳалшавии индий дар минтақаи аз сулфур бой бо ҷаббиши гармии баробар ба +847 Ҷ/г-ат ба амал меояд.



Расми 2.15. – Вобастагии фаъолнокии термодинамикӣ (a_i) ва энергияи озоди Гиббс (ΔG , Ҷ/г-ат.) дар системаҳои индий (1) - халкогенҳо (2) аз консентратсияи компоненти дуҷум: а) - индий-сулфур; б) - индий-селен; в) - индий-теллур

Ҳамин тариқ, дар диссертатсия формулаҳои назарияи маҳлулҳои субрегулярӣ бо назардошти илова набудани энергияи маҳлули дучанда ба ҳӯлаҳои системаҳои индий-халкогенҳо (сулфур, селен ва теллур) истифода мешаванд. Дар ин маврид константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳои индий бо халкогенҳо аз рӯи диаграммаҳои ҳолати онҳо муайян карда шуданд. Барои ҳисоб кардани вобастагии консентратсияи коэффитсиентҳои

фаъл ва энергияи озоди Гиббс барои хӯлаҳои системаҳои индий-сулфур, индий-селен ва индий-теллур муодилаҳо ба даст оварда шудаанд. Хусусиятҳои термодинамикии ҳисобшудаи компонентҳо қачравии (отклонение) алтернативии асимметрии хосиятҳои компонентҳоро аз қонуни Раул нишон медиҳанд.

Хусусиятҳои термодинамикии ҳисобшудаи компонентҳо тағйирёбии аломати асимметрии моил ба қачравии (знакопеременные ассиметричные отклонения) хосиятҳои компонентҳоро аз қонуни Раул нишон медиҳанд.

2.4. Ҳисоби энергияи таъсири мутақобилаи байнизарраҳо ва координатаҳои ба қабатҳо ҷудошавии критикӣ дар системаҳои индий-халкогенҳо (S, Se, Te)

Муайян намудани константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизаррачаҳои индий бо халкогенҳо: сулфур, селен ва теллур, ки ҳоло ба таври таҷрибавӣ омӯхта нашудаанд, аҳамияти калон дорад. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ [9-12] имкони ба даст овардани қиматҳои доимиро дар асоси ҳудудии омехтанашаванда дар диаграммаҳои ҳолат нишон додан мумкин аст.

Мувофиқи корҳои [50, 51, 59] пайдоиши ба қабатҳо ҷудошавии критикӣ ($T_{кр}$) ва координатҳои он, яъне ҳарорат ($T_{кр}$) ва таркиби гузаришҳои критикӣ ($x_2^{кр}$)-и маҳлули якҷинсаро ба ду фазаи ҷудоқунанда дар системаҳои дукомпонента бо муодилаҳои зерин муайян кардан мумкин аст:

$$T_{кр} = [2(Q_1 - Q_2) x_2^{кр} (1 - x_2^{кр})] / R + [6Q_2 (x_2^{кр})^2 (1 - x_2^{кр})] / R \quad (2.17)$$

$$x_2^{кр} = - (Q_1 - 4Q_2) / 9Q_2 - \{[(Q_1 - 4Q_2) / 9Q_2]^2 + (Q_1 - Q_2) / 9Q_2\}^{1/2} \quad (2.18)$$

ки дар ин ҷо R - доимии универсалии газӣ, Q_1 ва Q_2 - константаҳои мутақобилаи байнизарраҳо мебошанд.

Барои ҷудо кардани системаҳо дар ҳолати мувозинат потенциали химиявии компонентҳои мутақобила дар ду фазаҳои якҷо вучуддошта инҳоянд:

$$\mu'_1 = \mu''_1 \text{ ва } \mu'_2 = \mu''_2, \quad (2.19)$$

ки дар ин ҷо штрихи боло рақами фазаро нишон медиҳад ва индексҳои поён рақами компонентҳоро.

Дар системаҳои омехтанашаванда, арзишҳои потенциали химиявии компонентҳо дар муносибӣ қарор мегиранд:

$$\mu_1 = \mu_1^0 + RT \ln x_1 + x_2^2 (Q_1 - Q_2) + 2x_2^3 Q_2 \quad (2.20)$$

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln x_2 + x_1^2 (Q_1 + 2Q_2) - 2x_1^3 Q_2, \quad (2.21)$$

ки дар ин ҷо x_1 ва x_2 ҳиссаҳои молии ҷузъҳои якҷум ва дуҷум мебошанд.

Ифодаҳои (2.20) ва (2.21)-ро ба баробарии (2.19) гузошта, мо ҳосил мекунем:

$$2RT \ln x_1'/x_1'' + [(x_2')^2 - (x_2'')^2] (Q_1 - Q_2) + 2Q_2 [(x_2')^3 - (x_2'')^3] = 0 \quad (2.22)$$

$$RT \ln x_2''/x_2' + [(x_1'')^2 - (x_1')^2] (Q_1 + 2Q_2) - 2Q_2 [(x_1'')^3 - (x_1')^3] = 0, \quad (2.23)$$

дар ин ҷо $x_1' + x_2' = 1$ ва $x_1'' + x_2'' = 1$ аст.

Муодилаҳои (2.17) - (2.23) параметрҳоеро дар бар мегиранд, ки бо истифода аз маълумот [9-12] дар бораи мувозинати фазагӣ дар системаҳои In-S, In-Se ва In-Te муайян кардан осон аст.

Қиматҳои константаҳои таъсири мутақобилаи байнизарроҳо аз рӯйи шартҳои баробарии потенциалҳои химиявии компонентҳо дар моеъҳои мувозинатдошта дар ҳарорати монотектика бо роҳи ҳалли якҷояи муодилаҳои (2.22) ва (2.23) ҳисоб карда шуданд. Маълумоти ибтидоӣ ва натиҷаҳои ҳисобкунӣ дар ҷадвали 2.5 оварда шудаанд.

Масалан, дар поён мо ҳисобкуниро дар диаграммаи ҳолатии системаи In-S муфассал дида мебароем, ки аз он дида мешавад, ки $x_2' = 0.0700$; $x_2'' = 0.3700$ ва $T_m = 911$ аст, аз ин рӯ, пас аз ҳалли муштараки муодилаҳои (2.22) ва (2.23) мо $Q_1 = 14009$ ва $Q_2 = 35076$ Ҷ/г-ат.-ро мегирием. Бо ҷойгузориҳои қиматҳои байнизарравии константаҳои мутақобила ба муодилаҳои (2.17) ва (2.18) метавон координатҳои оғози ҷудошавии критикиро дар системаи In-S дарёфт намуд.

Ҳисобҳо бо формулаҳои (2.17) ва (2.18) нишон медиҳанд, ки оғози ҷудошавии критикӣ дар ДХ-ии In-S ба $T_{кр.} = 1079$ ва $x_{кр.} = 0.1999$ мувофиқат мекунад. Ҳисобҳои монанд барои системаҳои In-Se ва In-Te анҷом дода шудаанд (ниг. ҷадвали 2.5).

Чадвали 2.5. –Қиматҳои константаҳои мутақобилаи байнизарраҳо (Q_1 ва Q_2) дар системаҳои индий бо халкогенҳо (S, Se, Te), ки минтақаҳои ҳалшавандагии маҳдуд дар ҳолати моеъ доранд

Система	T_m, K	Худудҳои ҳалшавандагӣ, ат. ҳиссаҳо		Q_1	Q_2
		x_2'	x_2''		
In-S	911	0.0700	0.3700	14009	35076
In-Se	793	0.0700	0.2900	3844	47914
In-Te	696	0.0390	0.3120	1500	50854

Муқоисаи арзишҳои таҷрибавӣ ва ҳисобшудаи координатаҳои оғози ҷудошавии маҳлули гомогенӣ аз рӯи муодилаҳои (2.22) ва (2.23) мувофиқати хуби онҳоро нишон медиҳад (ниг. чадвали 2.6). Аз қиматҳои муайяни Q_1 ва Q_2 асимметрияи назарраси хосиятҳои термодинамикии системаҳои In-S, In-Se ва In-Te-ро пайгирӣ мекунад.

Чадвали 2.6. –Қиматҳои таҷрибавӣ ва ҳисобшудаи оғози ҷудошавии критикӣ ва координатаҳои он ($x_2^{кр.}$, ат. ҳиссаҳо ва $T_{кр.}$, K)

Система	Ибтидои ҷудошавии критикӣ			
	$x_2^{кр.}$, таҷриб.	$x_2^{кр.}$, ҳисоб.	$T_{кр.}$, таҷриб.	$T_{кр.}$, ҳисоб.
In-S	0.2000	0.1999	1024	1079
In-Se	0.1735	0.1609	1183	930
In-Te	0.1835	0.1544	1076	904

Дар асоси он, ки рафтори компонентҳо дар маҳлулҳо ба хосиятҳои термодинамикӣ вобаста аст, дар қори [6] нишон дода шудааст, ки онҳоро аз рӯи энергияи таъсири мутақобилаи байнизарраҳо дар системаҳои нуқра бо сулфур, селен ва теллур дар ҳолати набудани он ченкунии бевоситаи таҷрибавии фаъолияти компонентҳо дар ҳӯлаҳо ҳисоб кардан мумкин аст. Маълумоти бадастомада бо хусусияти мувозинати фазагӣ дар системаҳои нуқра-халкогенҳо мувофиқат мекунад. Азбаски сохтори диаграммаи фазагии системаҳои нуқра-халкогенҳо ба таъсири мутақобилаи индий бо сулфур, селен ва теллур монанд аст, арзиши фаъолиятҳо ва энергияи озоди Гиббс дар ғудохташавии индий бо халкогенҳо вобаста ба консентратсияи компоненти дуюм ба монанди системаҳои нуқра-халкоген фарқ мекунад.

Бояд қайд кард, ки дар монография [50] Мелвин - Хюз муодилаҳоеро пешниҳод кардааст, ки энергияи таъсири мутақобилаи байнизираҳо ро бо дигар хосиятҳои физико-химиявии хӯлаҳо, масалан, бо часпакӣ, диффузия, шиддати сатҳӣ, зичӣ ва ҳаҷми молярӣ дар бораи маълумоти кори пешниҳодшуда алоқаманд мекунад, ки онҳоро дар асоси таҷрибаҳо муайян кардан мумкин аст.

Хулосаи боби дуюм

Дар боби дуюм бо истифода аз таҳлили термодинамикӣ дар асоси назарияи маҳлулҳои идеалӣ, регулярӣ ва субрегулярӣ, бо назардошти иловагии энергияи маҳлули бинарӣ маълумотҳои зерини ҳисобшуда барои системаҳои дучандаи индий гирифта шуданд:

- қиматҳои энергияи омехташавӣ (Q_{12} , бо зиёда аз 80 элементҳои чадвали даврӣ) ва дараҷаи тартиби кутохмуддат (σ_{12}) дар системаҳои дучандаи индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta, ки онро ба вучуд овардаанд, ба мо имкон дод, ки намудҳои диаграммаҳои ҳолатии системаҳои мазкурро мушаххас кунем. Масалан, арзишҳои мусбати энергияи омехта бо набудани таъсири зич байни ҷузъҳои системаҳои омӯхташаванда хос аст. Ҳангоми муайян кардани дараҷаи тартиби наздики онҳо меъёри Джураев, - дараҷаи тартиби наздикро истифода бурдаем, ки ин имкон дод системаҳои индий бо намудҳои монотектикии таъсири мутақобила ва умуман набудани он дар ҳолати моеъ ва саҳт муайян карда шаванд. Дар натиҷа бори аввал диаграммаҳои ҳолатии мукамал барои системаҳои дучандаи пурра омӯхтанашудаи индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta сохта шуданд, ки бо набудани омехташавии байни компонентҳо дар ҳолати моеъ ва ҳаҷм саҳт хосанд. Аммо ҳангоми кристаллизатсия дар онҳо метавонанд маҳлулҳои саҳти хеле маҳдуд муайян карда шаванд. Тағйирёбии нонварианти дар онҳо эҳтимоли таназзул доранд ва пайдоиши пайвастагиҳои интерметаллӣ ё фазаҳои мобайнӣ аз эҳтимол дур нест.

- бо истифодаи маълумотҳои диаграммаҳои ҳолатии сохтани индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва T параметрҳои технологияи раванди тозакунии ликватсионии индий аз ғашҳои мушкулгудози металлҳои мазкур

пешниҳод мегардад. Дар ин ҳолат баландшавии тозагии индий ҳангоми хунуккунии марҳила ба марҳила аз 673 то 473 К нишон дода шудааст, ки ба коркарди схемаи технологии гирифтани индийи дараҷаи тозагиаш гуногун имкон медиҳад.

- коркарди технологии ҳосилкунии индийи тозагиаш махсус барои дар истехсолот татбиқ намудан тавсия карда мешавад, чун ки самаранокии пешакии солонаи иқтисодии индий барои як тонна 1833900 сомонӣ (як миллиону ҳаштсаду сию се ҳазору нуҳсад сомонӣ) бо нархҳои соли 2024 ҳисоб карда шудааст.

- қиматҳои константаҳои мутақобилаи байнизарраҳо (Q_1 ва Q_2) имкон дод, ки муодилаҳо барои ҳисоб кардани коэффитсиентҳои фаъол (f_i) ва фаъолнокии термодинамикии ҷузъҳо (a_i) ба даст оварда шаванд, инчунин, энергияи озоди Гиббс (ΔG) ҳӯлаҳои системаҳои индий-халкоген, натиҷаҳои он мавҷудияти минтақаи намуди таъсири монотектикиро дар баробарӣ ташаккули пайвастагиҳои химиявӣ ва омехтаҳои механикӣ дар системаҳои қаблан омӯхташудаи In-S, In-Se ва In-Te тасдиқ кардаанд ва имкон доданд, ки бори аввал бо роҳи ҳисоб координатаҳои таназзули критикии маҳлули гоммогенӣ бо ду фазаи гетерогенӣ дар онҳо муқаррар карда шавад.

Бояд гуфт, ки натиҷаҳои дар боби дуҷуми диссертатсия гирифташударо барои коркарди илмии технологияи ҳӯлаҳо, тозакунии, тағйирдиҳи бо иловаи ками элементҳо (модифицирования), ба даст овардани индий ва ҳӯлаҳо дар асоси он бо талаботи нишондиҳандаҳои ҳосиятҳои физикӣ, механикӣ, химиявӣ ва технологӣ тавсия кардан мумкин аст. Масалан, ҳангоми таҳияи технологияи ба даст овардани метериалҳои дорои ҳосиятҳои баланди зиддифриксионӣ барои неругоҳҳои электрикии ядроии техникаи атомӣ ва истифодаи маълумот, ки дар бораи системаҳои бинарии ба қабатҳо ҷудошавандаи индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se ва Te, ки мо дар кори худ омӯхтем дохил мешавад.

Боби сеюми рисола бо роҳи таҷрибавӣ ба омӯзиши суръати паҳншавии ултрасадо дар In, S, Se, Te ва муайян намудани координатҳои ҷудошавии критикӣ дар системаҳои дучандаи In-S, In-Se ва In-Te бахшида шудааст.

БОБИ Ш. УСУЛИ ОМЎЗИШИ ХОСИЯТҲОИ УЛТРАСАДОИИ ГУДОХТАҲО (қисми тачрибавӣ)

3.1 Маводди ибтидоӣ ва тартиби тачриба

Гудохтаҳои гузаронандагӣ гуфта мо баъзе гудохтаҳои металлҳо, хӯлаҳои нимметаллҳо ва нимноқилҳоеро дар назар дорем, ки асосан гузаронандагии электронӣ доранд. Муаллифон [61] пешниҳод кардаанд, ки онҳо гудохтаҳои электронӣ номида шаванд.

Дар ин самт аввалин таҳқиқотҳое, ки ба УС бахшида шудааст, ченкунии суръати паҳншавии УС дар дувоздаҳ металлҳои моеъи электронӣ дар наздикии ҳарорати кристаллизатсия гузаронида шудаанд [62]. Дар он ҳатогии нисбии суръати паҳншавии УС мувофиқи ақидаи онҳо то 2% муайян карда шудааст. Муаллиф О. Ж. Клеппа [62] қимати коэффитсиенти ҳароратии суръати паҳншавии УС-ро $\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)$ аз - 0,3 то - 0,7 м/с нишон медиҳад. Дар як мақолаи баъдӣ [63] Гордон дар бораи ченкунии суръати паҳншавии УС дар гудохтаҳои қалъагӣ ва сурб бо ҳатогии нисбии 0,1% маълумот додааст.

Усулҳои тачрибавии омӯзиши хосиятҳои ултрасадогии гудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳо.

Усулҳои чен кардани суръати паҳншавии УС ҳамчун хосиятҳои молекулавӣ-кинетикӣ гудохтаҳои металлҳо ва нимноқилҳо [64-65] одатан ба мустақим ва ғайримустақим тақсим мешаванд [66]. Усулҳои мустақим усулҳоеро дар бар мегиранд, ки ба ченкунии дарозӣ ва вақти ҳаракати набзи УС дар намуна асос ёфтаанд. Суръати паҳншавии УС аз рӯйи чунин ифода муайян карда мешавад:

$$\vartheta_s = \frac{h}{t}, \quad (3.1)$$

ки дар ин ҷо h ва t мутаносибан дарозӣ ва вақти ҳаракати мавҷҳои УС мебошанд. Усулҳои ғайримустақим усулҳоеро меноманд, ки ба ченкунии дарозии мавҷ ва басомади УС асос ёфтаанд. Суръати УС бо ифодаи зерин муайян карда мешавад:

$$\vartheta_s = \lambda \cdot f, \quad (3.2)$$

ки дар ин чо λ - дарозии мавҷ (м) ва f басомади УС (МГц) мебошад.

То имрӯз дар марказҳои гуногуни илмии Академияи илмҳо ва донишгоҳҳои олии Федератсияи Россия ва қисман дар Ҷумҳурии Тоҷикистон миқдори зиёди усулҳои аслий ва аниқе, ки ба усулҳои бевосита ва бавосита асос ёфтаанд, кор карда баромада, ба вучуд оварда шудаанд. Ҳамаи усулҳо ҳар сол коркард мешаванд ва аксар вақт интихоби ин ё он усул аз завқи муҳаққиқ вобастагӣ дорад.

В.М. Глазов, А. Айвазов, В.И. Тимошенко техникаи нави ченкунии суръати паҳншавии УС-ро дар гудохтаҳои металлҳо ва нимноқилҳо бо истифода аз рефлектори зинадор (пӯлоди зангногир ҳамчун барандаи садо) ва усули муқоисаи импульси кор карда бароманд [67]. Мувофиқи ҳисобҳои ин олимони хатогии ченкунӣ 0,04% -ро ташкил медиҳад.

Аз ҳамаи маълумотҳои дар сарчашмаҳои илмӣ чопшуда боэътимодтаринаш бояд усулҳои эътироф карда шаванд [64-65, 68], ки дар ченкунии суръати УС хатогии хурдтарин доранд ва тозагии металл ё нимноқилҳои таҳқиқшавандаро нишон медиҳанд. Аммо ин пешравиҳои омӯзиши суръати УС ҳадди ниҳии ҳарорати то -1400 К доранд. Аз ин бармеояд, ки баъзе масъалаҳои техникий таҷрибаҳои акустикий металлҳои ҳарорати гудозиши баланд дошта ҳал нашудаанд (ҳарорати гудозиши аксарияти металлҳо ва нимноқилҳои таҳқиқнашуда, ки ҳарорати гудозишашон аз 1400 К боло аст, дар назар аст) [69].

Ҳангоми интихоби усули асосии таҷрибавӣ, ки дар асоси он бояд усули омӯзиши мунтазам ва дақиқи хосиятҳои УС-ҳои гудохта таҳия карда шавад, мо принципҳои зеринро риоя кардем:

- содагӣ дар тарҳрезии аппаратура (дастгоҳҳои электронӣ, ки дар саноати электронӣ истехсол мешаванд);

- пайдарпайии анъанаҳои наздиктарин ва беҳтарин дар соҳаи тавачҷуҳи таҳқиқоти илмӣ, махсусан, дар ҳарорати баланд ва муҳити химиявии фаъол.

Татбиқи васеи усулҳои импульсӣ-фазавиро метавон дар шароити лабораторӣ, дақиқияти баланд ва вақти кӯтоҳи ченкунии суръати паҳншавии УС шарҳ дод [67]. Бояд гуфт, ки бо истифода аз усули импульсӣ-фазавӣ суръати паҳншавии садо на фазавӣ, балки гурӯҳӣ чен карда мешавад. Танҳо дар сурати набудани дисперсия суръати фаза аз рӯйи арзиш бо суръати гурӯҳ мувофиқ меояд. Дар вақти омӯхтани ғудохтаҳои металлҳо ва нимноқилҳо дар диапазони басомадҳои истифодашаванда дисперсияи суръати паҳншавии УС (то 5 МГц) дида намешавад.

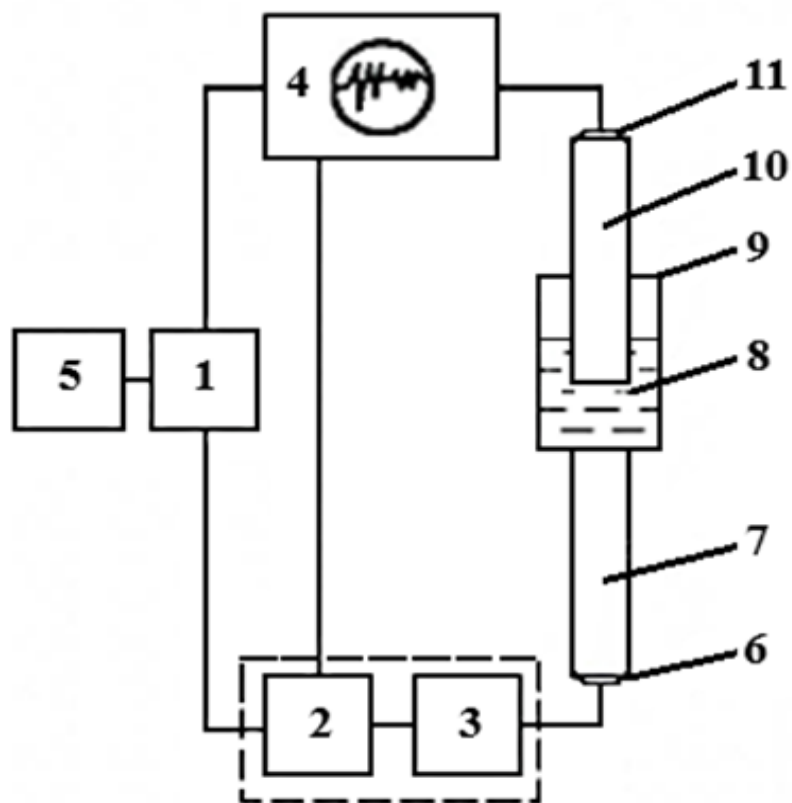
3.2. Блок-схемаи функционалӣ ва таҳияи сохти дастгоҳи гармидиҳӣ ва ченкунӣ

Асбобҳои электрикӣ, ки барои чен кардани хосиятҳои ултраакустикаи ғудохтаҳои металлҳо ва нимноқилҳо истифода мешаванд, асосан аз асбобҳои электронии стандартӣ ва агрегатҳои истеҳсолии саноати электроника ба ғайр аз генераторҳои радиоимпульсӣ, ки як қатор хусусиятҳои хос доранд, ташкил меёбанд.

Барои чен кардани суръати паҳншавии УС дар намунаҳои таҳқиқшавандаи металлӣ, нимметаллӣ ва нимноқилӣ ки дар ҳолати моеъгӣ қарор доранд, асбобҳои рақамии стандартии истеҳсолии зерин истифода шуданд:

- генератори сигнали синусоидалии баландбасомади Г4-102А,
- осциллографи СИ-70 бо агрегати пурқувваткунандаи дифференсиалии Я40-1102
- басомадченкунандаи электронии рақамии ЧЗ-34 А [69].

Нақшаи электрикии блок-схемаи функционалии дастгоҳ барои таҳқиқоти систематикӣ хосиятҳои ултрасадоии ғудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳо дар ҳолати моеъгӣ дар расми 3.1 нишон дода шудааст. Дастгоҳи мазкур аз ҷониби мо тартиб дода шуда, дар қори [70] оварда шудааст.



Расми 3.1. –Накшаи дастгоҳ барои омӯхтани хосиятҳои ултрасадогии гудохтаҳои металлӣ ва нимноқилӣ дар ҳолати моеъгӣ

Сигнали электрикии баландбасомади генератори сигнали синусоидалии (Г4 - 102 А) 1 ба дастгоҳи 2 ворид мешавад, ки дар он ҷо аз лаппишҳои синусоидалии импульси росткунҷаи дорои пуршавии баландбасомади давомнокиаш муайян ва басомади такрорӣ ба вуҷуд меоянд. Ин импульсҳо тавассути пурқувваткунандаи 3 пурзӯр гардида, ба пезоэлементи 6 (СТС - сирконати титанати сурб) дода мешавад. Импульсҳо дар шакли мавҷҳои УС-ӣ аз канали поёнии садогузаронандаи 7 ба гудохтаи 8, ки дар зарфи 9 ҷойгир шудааст, ба ларзишҳои эластикӣ табдил меёбанд. Мавҷҳои эластикӣ (акустикӣ)-и минбаъда ба канали садои ҳаракаткунандаи болоии 10 қабул шуда, тавассути элементи пезоэлектрикии қабулкунандаи (СТС) 11 боз ба ларзишҳои электрикӣ табдил меёбанд. Баъд аз ин сигнали электрикӣ ба яке аз даромадгоҳҳои осиллограф (С1-70) 4 бо блоки дифференсиалии пурзӯркунанда (Я40-1102) дода мешавад.

Ба даромадгоҳи дууми осиллограф сигнали доимии ҳамон басомади такрорӣ аз генератори 1 дода мешавад. Дар блоки пурқувваткунандаи дифференсиалии осиллограф ин сигналҳо ҳамҷаҳд мешаванд, ки ин

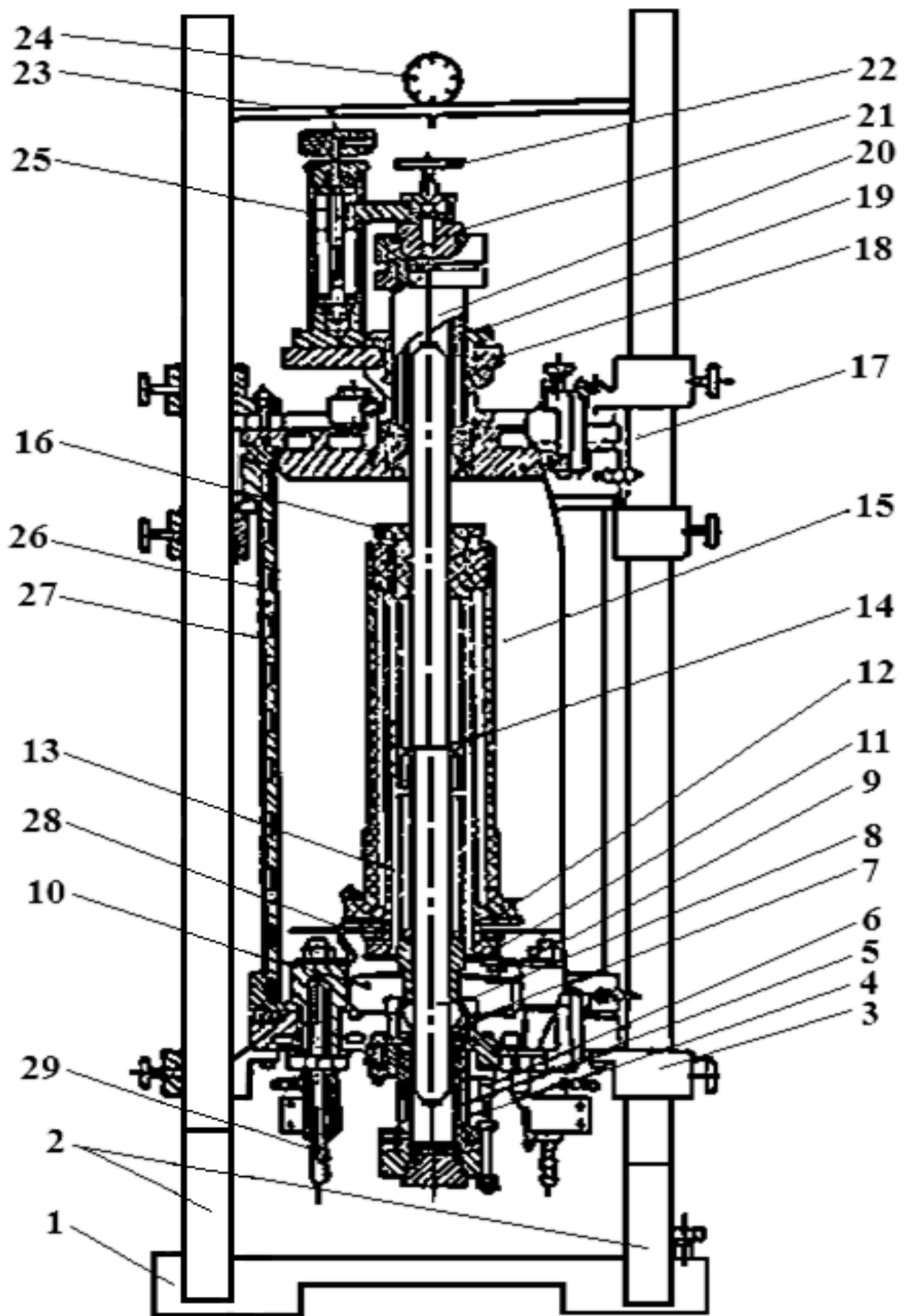
имкон медиҳад интерференсия (чамъкунӣ)-и онҳо ҳангоми тағйирёбии фаза дар сигнали импульсӣ мушоҳида карда шавад, ки бо тағйирёбии канали садоии ҳаракаткунандаи болоӣ нисбат ба поёнӣ чандкаратаи дарозии мавҷҳои УС дар гудохтаи металлҳо ва нимноқилҳо ба амал меояд. Басомадро асбоби электронии басомадсанҷии 5 (ЧЗ - 34 А) нишон медиҳад.

Яке аз ҷузъҳои асосии набзи УС дастгоҳест, ки импульсҳои росткунҷаро бо пуркунии басомади баланд ҳосил мекунад.

Дар микросхемаи 564LA7 генератори импульсии росткунҷа васл карда шудааст. Мувофиқи коҳиши манфии шиддат дар баромади генератори импульсҳои росткунҷа, мултивибратори интизорӣ, ки инчунин, сохтор ба микросхемаи 564LA7 асос ёфтааст, импульсҳои қутби манфиро бо давомнокии арзишҳои R2 ва C2 муайян мекунад. Суръати такрори набз аз ҷониби муқовимати R ва зарфияти C муқаррар карда мешавад. Мултиплексори аналогии К564КР2 ҳамчун калид истифода мешавад. Мултиплексор аз ҷониби яке аз воридоти суроға идора карда мешавад. Басомади пуркуниро тавассути генератори ларзиши синусоидалӣ аз 0,2 то 10 МГц ба осонӣ тағйир додан мумкин аст, амплитудайи сигнал 1В аст. Барои зиёд кардани амплитудайи сигнал дар транзисторҳои пуриқтидори баландбасомад як пурқувваткунандаи 3 васл гардида, он имкон медиҳад, ки импульсҳо то 60 В зиёд карда шавад.

Ду шарт барои омӯзиши систематикӣ оид ба суръати паҳншавии УС муҳим аст: осонии васлкунӣ - ҷудокунии дастгоҳ, имконияти истифодабарии бисёркаратаи зарфи ченкунӣ (каналҳои садо ва контейнер барои гудохташавӣ). Шарти аввал аз ҳисоби ҳалли конструктивии қисмҳои алоҳида ва дастгоҳ имконпазир аст.

Барои иҷрои шарти дуюм баъди анҷоми таҷриба бо имконияти озодшавии зарфӣ (кварс) аз гудохтаи таҳқиқшудаи ҳолати моеъдоштаро таъмин кардан зарур аст.



Расми 3.2. –Буриши кундалангии дастгоҳ барои омӯзиши хосиятҳои ултрасадогии
 гудохтаи металлҳо ва нимқоқилҳо дар ҳароратҳои баланд

Яхдон-дорандаи канали садо аз 4 косаи берунӣ ва 5 косаи дарунӣ иборат аст, ки флансҳои онҳо бо винтҳо маҳкам карда мешаванд ва дар натиҷаи он нимконусҳои роҳнамои баръакси 7 ҳангоми марказонидани канали садои поёнии 8 дар қад-қади меҳвар часпонида мешаванд. Трансдюсери 19 (СТС - сирконати титанати сурб) бо қабати лаки обногузар изолятсия карда шудааст. Косаи дарунии 5 аз берун бо сарпуши 21 маҳкам шудааст, ки дар он барои кашидани сими баромади 20 сӯроҳӣ мавҷуд аст (яхдонҳои боло ва поёнӣ-доранда аз ҷиҳати конструксия якхелаанд). Дар зарфи 14, ки аз боло бо сарпӯши гарминигоҳдорандаи 16 маҳкам шудааст, гудохтаи таҳқиқшаванда мавҷуд аст [69].

Дар баробари ин, яке аз вазифаҳои асосии гузарондани таҳқиқоти таҷрибавӣ оид ба суръати паҳншавии УС масъалаи бунёди гармкунаки универсалӣ мебошад, зеро боэътимодтарин маълумотҳои таҷрибавӣ, ки дар ҳароратҳои якхела дар як вақт бо роҳи чен кардани якчанд бузургҳои ултраакустикӣ бо ҳам мувофиқанд, ба даст оварда мешавад. Вобаста ба ин, бо назардошти хусусиятҳои хоси объектҳои ченшаванда (металлҳо ва нимноқилҳо) мумкин аст, ки талаботҳои асосиро ба чунин гармкунаки универсалӣ, ки барои омӯзиши на танҳо бузургҳои ултраакустикӣ, балки барои омӯзишҳои гуногуни физикӣ ва химиявӣ пешбинӣ шудаанд, таҳия кардан мумкин аст. Чунин гармкунаки универсалӣ бояд дорои хосиятҳои зерин бошад: Якум, вай бояд дар минтақаи корӣ ҳарорати якхелаи кориро таъмин кунад, ки барои чен кардан, аз ҷумла, ченкунии суръати паҳншавӣ ва фурубурдашавӣ УС хеле муҳим аст. Дуюм, чунин гармкунак аз сабаби андозаи маҳдуди дастгоҳҳои ултраакустикӣ бояд андозаи хурд дошта бошад. Сеюм, дар шароити лабораторӣ масъалаи кам сарф кардани қувваи барқ аҳамияти калон дорад. Чорум, ҳангоми омӯзиши суръати паҳншавӣ ва фурубурдашавии УС дар ҳарорати баланд таъсири майдони магнитии воқеии гармкунакро истисно кардан лозим аст [69].

Бо дарназардошти талаботи боло мо тарҳи гармкунаки баландҳароратро таҳия кардем, ки барои омӯзиши хосиятҳои ултраакустикии гудохта пешбинӣ шудааст [69], бо шаҳодатномаи ҳуқуқи

муаллиф (патент) [70] ҳимоя шудааст. Дар расми 3.2 буриши кундалангии ин дастгоҳ барои омӯзиши хосиятҳои УС-ии гудохтаи металлҳо ва нимноқилҳо дар ҳолати моеъ барои ҳароратҳои баланд нишон дода шудааст.

Дидан мумкин аст, ки элементи гармидиҳанда аз ду найчаи графитии 12, 13 (графити истеҳсоли Россия) иборат аст, ки дар боло ба ҳам пайвастанд. Ин тарҳи гармкунак имкон медиҳад, ки қувваи барқ аз гармкунак ба ду самти муқобил гузарад ва имконияти ба вучуд овардани майдони магнитии худро аз ҳисоби чараёни гармкунак, ки дар тартиб додани таҳқиқоти хосиятҳои акустикӣ гудохтаҳои металлҳо ва нимноқилҳо аҳамияти калон дорад, аз байн барад. Гармкунак бо ду ноқили мисини бо об хунуккунандаи 29 ба қувваи барқ таъмин карда мешавад.

Бо мақсади кам кардани талафоти микдори гармӣ системаи паҳлӯӣ ва ёни пардаҳо (экран) аз кварсу молибден ё фалгаи титан сохташуда пешбинӣ карда шудааст.

Маврид ба зикр аст, ки элементи гармидиҳанда аз боло ҳеҷ гуна таснифот надорад. Аз ин рӯ, афзоиши дарозии он бо баланд шудани ҳарорат ба ягон фишори механикӣ оварда намерасонад. Гузаронандаи барқ аз қисми поёнӣ бо ёрии қабати гарминигоҳдорандаи фторопластикӣ ҷудо карда мешавад (фторопласт дар як вақт нақши изоляторро мебозад). Дар гармкунак сарпуши совишдодашудаи графитӣ аз боло пешбини шудааст, ки нақши электроконтактро мебозад.

Қувваи барқ ба гармкунак бо истифода аз трансформатори хушк пасткунандаи навъи ОСУ-20/0,5 ва автотрансформатори танзимшавандаи рағандори навъи РНО-250-40, ки ба печи ибтидоии он пайваст карда мешавад, дода мешавад [69]. Таҷрибаҳои махсус гузаронидашуда нишон доданд, ки пастшавии ҳарорат дар гармкунак дар қитъаи корӣ ба дарозии зарфи нигоҳдорандаи металли моеъ мувофиқ буда, аз ду дараҷа зиёд нест [71-73].

Ҳамин тариқ, тарҳи пешниҳодшудаи гармкунак имкон медиҳад, ки таҳқиқот дар доираи васеи ҳарорат то 2300 К гузаронида шавад.

Усули ҳосилкунии алоқаи акустикӣ байни мавҷҳои садо ва гудохта.

Сабаби алоқаи пастсифати акустикӣ (намнок нашудани байни гудохта ва садогузаронанда) дар сатҳи атомӣ ва молекулавӣ набудани алоқаи байни гудохтаҳо ва ноқилҳои садо мебошад. Мавҷи чандирӣ аз атом ба атом дар муҳити конденсатсияшуда танҳо тавассути бандҳои байниатомӣ паҳн мешавад ва набудани онҳо паҳншавии минбаъдаи онҳоро қатъ мегардонад. Бандҳои химиявии устувори байни ҷисмҳои саҳт ва моеъ метавонанд ба ҳалшавии мутақобилаи онҳо мусоидат кунанд. Аз ин рӯ, моддаи алоқамандшавии байни металли моеъ ва садо гузаронанда бояд ҷисман заифтар бошад. Чунин алоқаҳо вақте ба вуҷуд меоянд, ки сатҳи моддаҳои саҳти истифодашаванда бо моеъҳо тар карда мешаванд [69].

Гудохтаҳои металлҳо, махсусан, нимметаллҳо ва нимноқилҳо сатҳи ҷисмҳои диэлектрикиро (шиша, кварс, сафол, ёқут ва ғайра) хеле бад намнок мекунад. О. Ј. Клеппа [62] алоқаи акустикӣ байни металли моеъ ва ноқили садогузаронандаро бо истифода аз алоқаи мобайнӣ беҳтар намуда, маҳз дар истифодаи қабатҳои моеъ бояд маводде, ки сатҳи болоиро чун ноқили садо-ҷисми диэлектрикӣ ва ҳамчунин гудохтаро тар мекунад, сустҷӯй намудан зарур аст. Мум, парафин ва равғанро дар ҳарорати баланд истифода бурдан мумкин нест. Илова бар ин, барои тозагии моддаи таҷрибавӣ истифодаи онҳоро дар вақти озмоиш манъ мекунад. Аз ин рӯ, масъалаи интиҳоби маводди мувофиқ барои қабати мобайнӣ актуалӣ ва муҳим боқӣ мемонад.

Маводди намкунандаи металли моеъ ва ноқили садогузаранда бояд ба талаботи зерин ҷавобгӯӣ бошад:

- инертнок будан нисбат ба гудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳо ва хӯлаҳои дар асоси онҳо тайёршуда;
- тамиз (тозагӣ дар сатҳи нимноқилҳо);
- технологияи содаи мувофиқ (содагии татбиқ ва аз нӯги ноқили садо пас аз таҷриба дур кардан);
- ҳуб омехташавии сатҳи ҷисмҳои саҳт (аз ҷумла, ноқили садогии ҳаракатдиҳандаи болоӣ ва поёнӣ) ва гудохтаҳо [71];

- ҳарорати гудозиши паст, безътиной нисбати бухоршавӣ дар ҳароратӣ то 2300 К.

Нигоҳ доштани алоқаи устувории акустикӣ пас аз сахтшавӣ (барои омӯзиши металлҳои бо осонӣ гудохташаванда, нимметаллҳо ва нимноқилҳо).

Ин талаботро ангидриди шаффофи бор (B_2O_3) беҳтар қонеъ мекунад. Он ду талаботи аввалро хеле хуб қонеъ мекунад, зеро он дар техника ва технологияи нимноқилҳо ба сифати флюс ҳангоми аз гудохта ҳосил кардани кристаллҳои ниҳоят тоза истифода мешавад. Истифода ҳангоми гудозиш ба осонӣ сурат гирифта, қисмҳои дар таҷҳизот часпидааш бо оби гарм тоза карда мешавад. Он тақрибан ҳамаи қисмҳои сахт ва гудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳоро намнок мекунад (легиронии нимноқилҳо ба воситаи флюс ва фазаи буғ бо ғашҳои идорашаванда). Он дорои ҳарорати гудозиши нисбатан паст (723 К) ва фишори буғҳои сераш дар 2300 К тақрибан 10^4 Па мебошад. Маълум мешавад, ки ангидриди бори моеъ ҳангоми таҷриба пардаи оксидии гудохтаҳоро ҳал мекунад.

Озмоишҳо нишон доданд, ки баъди сахт шудани ангидриди бор намнокшавӣ бо металлҳо ва гудохтаҳои нимноқилҳо нигоҳ дошта мешавад. Пайваستшавӣ ба кварс ва ёқут, ки ҳатто дар ҳолати моеъгии ангидриди бор (B_2O_3) ба даст омадааст, чунин аст, ки ҳангоми кӯшиши тоза кардани қабати ангидриди бор пас аз хунук шудан то ҳарорати хонагӣ, худӣ кварс ба таври механикӣ қанда мешавад. Ҳангоми ба сатҳи оксидшудаи пӯлоди зангногир (ранги сатҳаш торик) молидани ангидриди бори моеъ, пас аз чанд вақт он қилои металлӣ пайдо мекунад (оксид мешавад), ки ин аз ҳал шудани оксиди металлӣ тавассути ангидриди моеъи бор шаҳодат медиҳад. Ҳангоми хунук шудан то ҳарорати хонагӣ 298 К, пайвастшавӣ ба сатҳи металл нигоҳ дошта мешавад [71].

Истифодаи ангидриди бор дар торсҳои садогузар пеш аз ченкунӣ бевосита ба намуди дастгоҳи омодашуда ҳангоми гузоштани металли таҳқиқшаванда ва нимноқил ба амал меояд. Барои ин, ҳангоми васл кардани дастгоҳ дар байни торсҳои ноқили садо якчанд риштаҳои нав кашидашудаи

ангидриди бордорро мегузоранд, ки онҳо бо дарозии на камтар ва на бештар аз дарозии сатҳи ноқили садогузаранда мебошанд. Аз ангидриди моеъи бор риштаҳои диаметрашон то 0,2 мм ба осонӣ кашида таёр намудан мумкин аст. Дар дастгоҳи васлшуда баъди аз ҳарорати гудозиши ангидриди бор баланд шудани ҳарорат, молидани торсҳои ноқилҳои садоӣ бо ҳаракатҳои гардиши мутақобилаи ноқилҳои садоии болоӣ ва нисбатан поёни баъди гудозиши намунаи таҳқиқшаванда ба амал меояд. Дар ин маврид торсҳои ноқилҳои садоӣ бо қабатҳои тунуки ғафсиаш то 0,02 мм қабатҳои ангидриди бори моеъ пӯшонидани мешаванд [73].

Баъди итмоми таҷриба ин боқимондаҳо бо оби гарм ба осонӣ ҷудо мешаванд. Пас аз суфтани, сайқал додан ва безарар гардонидани торсҳои корӣ (рабочих торцов) боз барои таҷрибаи навбатӣ омода карда мешаванд. Усули таҳияшудаи ҳосилкунии алоқаи баландсифати акустикӣ бо истифода аз қабатҳои шаффофи ангидриди бор имкон медиҳад, ки амплитудани сигнали баромад 3-4 маротиба зиёд карда шавад [70-72].

Усули ченкунии нишондиҳандаҳои УС-ии гудохтаҳо. Усули кор оид ба сохтори амалиёт тайёри ба таҷриба, ченкуни ва анҷоми таҷрибаро дар бар мегирад [69]. Мувофиқи расми 3.2 яخدони поёни бо ноқили садои поёнии дар он часпонидашуда бо винтҳо ба ҳалқапайванди поёнии корпус васл карда мешавад. Баъдан, як зарфи дренажӣ насб карда мешавад. Барои он ки занҷири суфташуда танба нашавад сатҳи суфташудаи ноқили садои поёниро бо графит мепушонанд [71]. Якчанд риштаҳои тозакашидашудаи ангидриди бор дар торси ноқили садои поёни ҷойгир шудаанд. Дар онҳо озодона ноқили садои болоӣ гузошта мешавад, ки бо зарфи кварсӣ пӯшонидани мешавад. Ноқили садои болоӣ ба онҳо озодона ҷойгир карда шудааст. Дар мавқеъҳои зарурӣ барои муайян намудани ҳарорат ва пайдо нашудани градиенти ҳарорат 3 термopара гузошта шудааст. Термopараҳо дар се баландии зарфи нигоҳдорандаи метали моеъ барои пешгирӣ кардани гистерезиси ҳарорат ҷойгир карда мешаванд. Пас аз ин тартиб то 100 грамм модда дар дохили стакони кварсӣ гузошта мешавад. Баъд аз болояш печи графитӣ гузошта, боз як сарпӯши дигар гузошта мешавад ва дар байни

диаметри берунии сарпӯш ва сатҳи дарунии печҳо фосилаи минималӣ ба амал меояд.

Бо мақсади кам кардани талафоти он системаи пардаҳои паҳлӯӣ ва торсиявии аз кварс ва фалгаи молибденӣ сохташуда гузошта мешаванд, ки баландии онҳо дар қисми боло қадам ба қадам, аз дарун то берун аз ҳар 5 мм зиёд мешавад. Пас аз он, чилди паҳлӯӣ ва ҳалқапайванди болоӣ насб карда мешавад. Баъдан, ба канали садогузари болоӣ яхдон ҷой мегирад, винтҳо дар ҳалқапайванди он баробар мустаҳкам карда шуда, тавассути пластинкаи металлӣ бо сими даҳанадор кашида шуда, сарпӯшак маҳкам мешавад. Минбаъд платформа бо винти микрометрӣ гузошта шуда, пояи он дар қисми болоии хунуккунандаи болоӣ ҷойгир карда мешавад. Ба симу дастгоҳҳои бароранда экранҳои металлӣ гузошта, дастгоҳ ба об пайваस्त карда мешаванд [69].

Қисми дохилии таҷҳизот бо насоси фор-вакуумӣ то фишори боқимондаи 1 Па кашида бароварда мешавад ва пас аз он гармӣ хомӯш карда мешавад. Дар ҳарорати болотар аз $T_{гуд}$ V_2O_3 дар экрани осиллограф тасвир (сигнал) пайдо мешавад. Ҷафсбандӣ ба амплитудайи максималии сигнали кории баромад анҷом дода мешавад, винтҳои васлкунандаи ҳалқапайванд ва корпуси паҳлӯии қабати болоӣ (кожух) якхела маҳкам ва саҳт карда мешаванд, ки пас аз он давраи секаратаи воридшавӣ ва такроран додани гази инертӣ (арғони тозагиаш баланд) ба амал меояд. Дар давраи охирин гази инертӣ ба ҳаҷми корӣ то фишори зиёда аз 1,15 маротиба аз фишори атмосфера зиёдтар пур карда мешавад (барои пешгирии воридшавии ҳаво аз атмосфера). Оҳиста-оҳиста таҷҳизотро гарм карда, ба ҳарорате мерасонем, ки дар он намуна гудохта мешавад. Баъд аз ин, ноқилҳои садоӣ бо фишори сабук ба ноқилҳои садои болоӣ тавассути ҳаракатҳои гардиши мутақобилаи яхдони болоӣ суфта карда мешаванд [69].

Суфтакунӣ вақте ба итмом мерасад, ки тасвири устувор муқаррар карда мешавад (сигналҳои барқӣ дар экрани осиллограф) [71]. Баъд аз ин, ноқили садои болоӣ ҷудо карда мешавад. Дар сурати ноустувории сигнали корӣ омехташавии гудохтаҳо бо баланд ва паст кардани яхдони болоӣ то

устувор шудани сигнал (доимӣ) давом мекунад. Пас аз ба даст овардани алоқаи боэътимоди акустикӣ, ченкуниро оғоз кардан мумкин аст. Ченкуниҳо ҳам дар тартиби гармкунӣ ва ҳам дар тартиби хунуккунӣ (барои роҳ надодан ба гистерезисӣ ҳарорат) гузаронда мешаванд ва дар ҳар як ҳарорат гудохта на камтар аз 30 дақиқа пеш аз ченкунӣ нигоҳ дошта мешавад. Пеш аз ченкунӣ гудохта дубора омехта карда мешавад. Чунин омехтакунӣ хеле самаранок аст, зеро диаметри канали садо 20 мм ва диаметри дарунии зарф 36 мм аст. Ченкунӣ аз муайян кардани дарозии мавҷ иборат аст, ки бо басомади додашуда имкон медиҳад, ки суръати паҳншавии УС муайян карда шавад. Техникаи таҳияшуда усули маъруфттарини чен кардани суръати паҳншавии УС буда, дар кори В. М. Глазов [68] тавсиф шудааст. Сипас, раванди муайян кардани суръати паҳншавии УС ба ҳамин тарик сураат мегирад, яъне вақте ки канали садои болоӣ ба масофаи дури $n\lambda$ кӯчонида мешавад, дар экрани осиллограф n хомӯшшавии сигнали умумӣ ба назар мерасад. Бо бақайдгирии ҷойивазкунии умумии $\Delta h = n\lambda$ ва муқаррар кардани басомад f , суръати паҳншавии УС аз рӯи муносибате муайян карда мешавад $\vartheta_s = f \cdot \frac{\Delta h}{n}$, ки ба формулаи муайяни зерин шабоҳат дорад:

$$\vartheta_s = f \cdot \lambda [74], \quad (3.3)$$

ки дар ин ҷо $\lambda = \frac{\Delta h}{n}$ мебошад.

Бояд тазакур дод, ки шумораи дарозии мавҷҳо, ки ба фарқияти асосҳои акустикӣ мувофиқанд, метавонанд гуногун бошанд, аммо дар амал ба се баробар буданашон мувофиқ аст.

Марҳилаи ниҳоии таҷриба ин озод кардани зарф аз гудохтаи таҳқиқишаванда иборат мебошад. Гудохта дар ҳарорати 100-200 дараҷа баландтар аз ҳарорати саҳтшавии намуна (металл ё нимноқил) мерезад, ҳангоми амалиёти омодагӣ барои резиш ва кори худи резиш (барои ҳар як намуна мувофиқи ҳарорати гудозишаш), гудохта барои хунук шудан пеш аз саҳт шудан фурсат намеёбад.

3.3. Омӯзиши хосиятҳои ултрасадоии гудохтаҳои

индий, сулфур, селен ва теллур

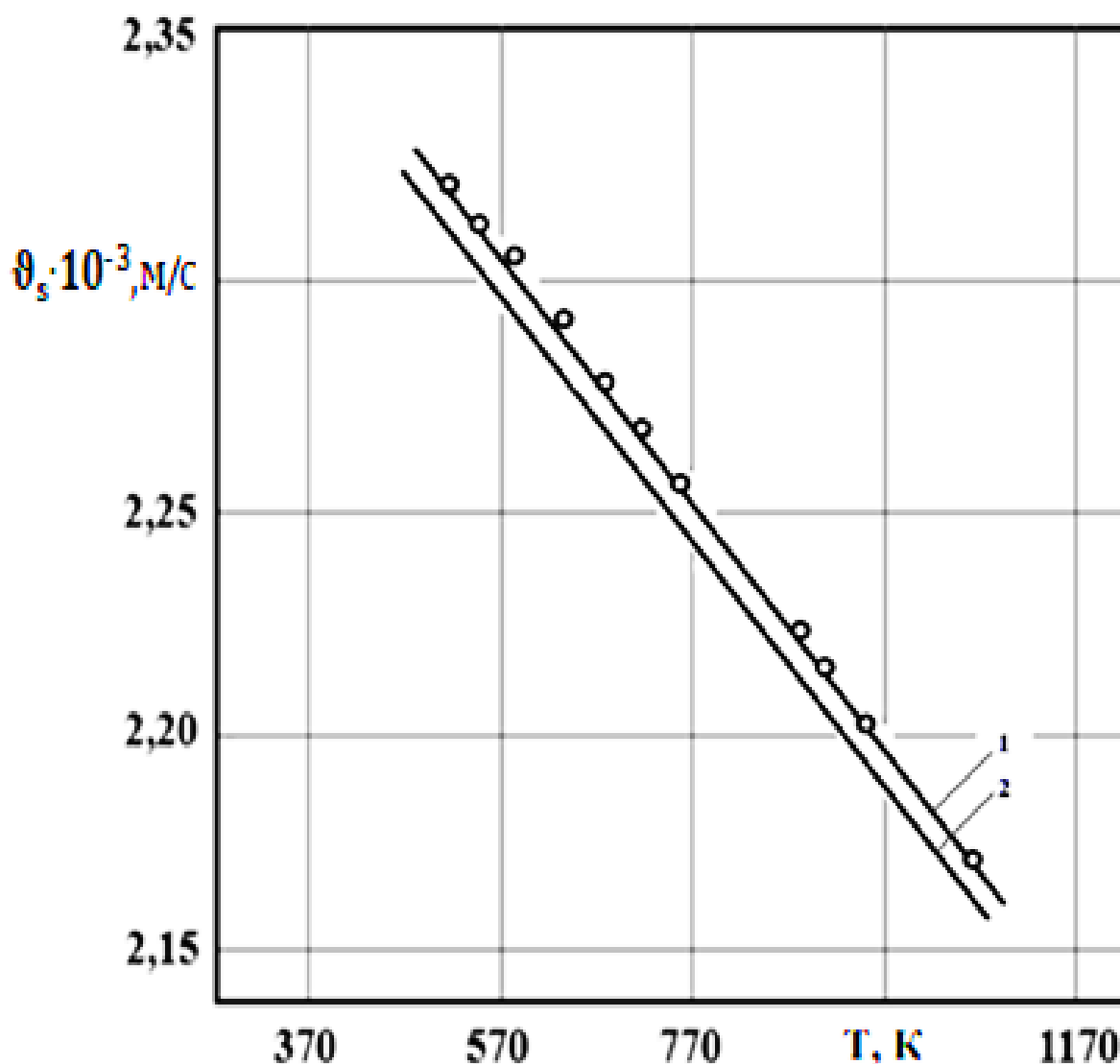
Аз зумраи элементҳои зергурӯҳи иловагии гурӯҳи сеюми ҶД металли индий дар саноат ҷиҳати коркарди хӯлаҳои осонгудоз ба таври васеъ истифода бурда мешавад. Хӯлаҳои сершумори секомпонента дар асоси индий маълуманд, ки дар ҳарорати аз 288 то 588 К гудохта мешаванд.

Хӯлаҳои индий, ки дар асоси индий ташкил ёфтаанд, дорои хусусиятҳои баланди физико-химиявӣ, физикӣ-механикӣ ва муқовимат ба зангзанӣ дар муҳити фаъол нисбати он устувор мебошанд. Онҳо дар технологияи корҳои заргарӣ барои сафедкунӣ ва кафшер кардани ҷисмҳои тиллоӣ, нуқрагин ва дигар ашёҳои нодир истифода мешаванд. Дар тибб онҳоро ба ҷойи гач ва гилҳои (отливки) ҷарроҳӣ истифода мебаранд. Инчунин, хӯлаҳои индий ҳамчун ба сифати моеъҳои молидани барои клапанҳои баланд вакуумӣ ва моеъҳои металлӣ истифода мешаванд.

Хӯлаҳои осонгудози индий барои ташкили системаҳои сигналдиҳанда ва ҳатто ҳамчун воситаи муҳити нейтралӣ барои ҳосил кардани материалҳо дар саноати нимноқилҳо ва электроника ба таври васеъ истифода мешаванд.

Дар расми 3.3 натиҷаҳои ҷенкунии суръати паҳншавии УС нисбат ба ҳарорат дар гудохтаи индий бо тозагии 99,99% компоненти асосӣ – индий нишон дода шудааст [74]. Намунаҳои панҷ гудохтаҳои гуногун омӯхта шуданд. Ҷенкунӣ дар басомади 2-4 МГц гузаронида шудааст. Ҳамчун алоқаи акустикӣ ангидриди бор - B_2O_3 тамғаи «Особой чистоты (ОСЧ)» истифода шудааст.

Бояд гуфт, ки мавҷудияти қабатҳои шаффофи ангидриди бор ҳамчун маводди намкунанда дар байни ноқили садогузаронанда (кварс) ва хӯлаи таҳқиқшаванда имконият медиҳад, ки қабул кардани сигнали баромад аз асбоби пезоэлектрики қабулкунандаи (болоӣ) нисбат ба набудани қабатҳои ангидриди бори болозикр 3-4 маротиба зиёдтар шавад [69].



1-натиҷаҳои кори мазкур,
2-маълумот аз кори [68].

Расми 3.3. –Натиҷаҳои ченкунии суръати паҳншавии ултрасадо дар индӣи моеъ

Қимати бузургии сигнали баромад 600-800 мВ ҳангоми шиддати даромад 30-40 В имкон дод, ки дар металлҳои моеъ ва нимноқилҳо ченкунии боэътимод ва аниқи суръати УС гузаронида шавад.

Зарф (контейнер) ва каналҳои садоӣ аз кварс омода карда шуданд. Дар диапазони басомадҳои дар боло зикршудаи аз 2 то 5 МГц дисперсияи басомади суръати паҳншавии УС мушоҳида нашудааст. Хатогии миёнаи мутлақи дақиқ ченкунии дар ҳарорати муайян -1,5 м/с буд [69]. Натиҷаҳои таҳқиқоти гармкунии ва хунуккунии тақрор ёфтанд. Хатогӣ дар натиҷаҳои

ченак дар гудохтаҳои гуногун на камтар аз 0,1% буд [69]. Дар расми дода шуда натиҷаҳои кори дигар муаллиф низ оварда шудааст [68].

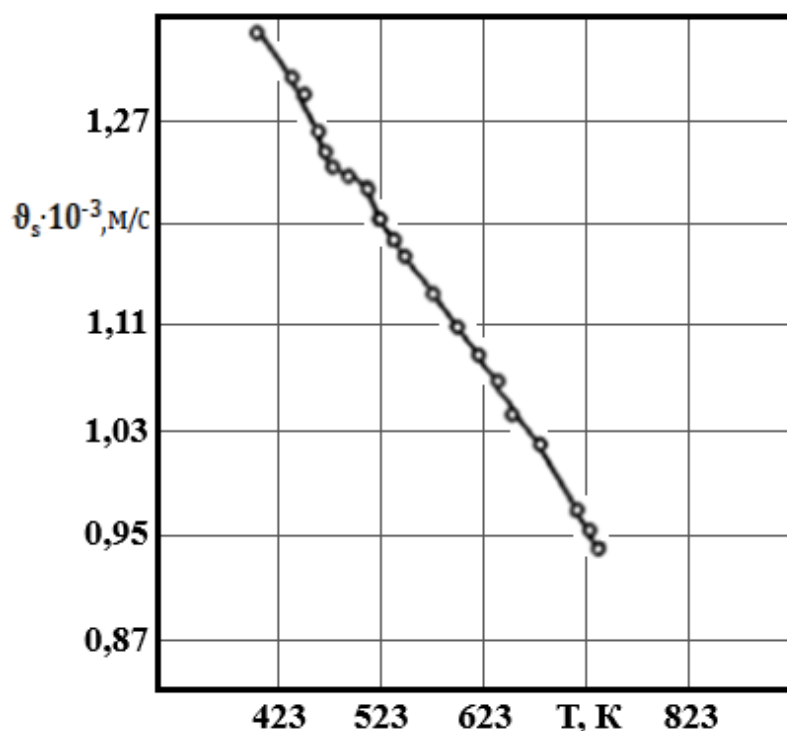
Дар корҳои [64-65] суръати паҳншавии УС дар як қатор металлҳои моеъ ва нимметаллҳо дар доираи васеи ҳарорат омӯхта шуданд. Байни тағйирот дар сохтори гудозиш ва рафтори суръати УС таносуби равшан пайдо шуд. Барои омӯзиши минбаъдаи ин масъала омӯзиши суръати паҳншавии УС дар нимноқилҳо аз манфиати зиёд ҳолӣ нест.

Сулфур минерале аз синфҳои унсурҳои табиӣ мебошад. Дар табиат 2 модификатсияи полиморфии он мавҷуд аст. α - сулфур панҷараи кристалии ромбӣ, β - сулфур сохти монокристалро доро мебошад. Дар фишори атмосферӣ ва ҳарорати 368,6 К α - сулфур ба β -сулфур табдил меёбад.

Маълум аст, ки дар ҳолати моеъ дар наздикии ҳарорати гудозиши сулфур сохтори полимолекулярии S_2 , S_6 , S_8 пайдо мешавад. Бо баланд шудани ҳарорат ҳосилшавии полимолекулаҳо аз байн мераванд. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат то 433 К ҳаспакии максималӣ мушоҳида мешавад, ки бо вайрон шудани сохтори ҳалқа ва ташаккули занҷирҳои дароз алоқаманд аст. Баландшавии минбаъдаи ҳарорат боиси вайрон шудани занҷирҳои дароз мегардад, ки дар натиҷа ҳаспакӣ низ кам мешавад.

Мо суръати паҳншавии УС-ро бо усули импульсӣ-фазаӣ дар басомади 3-4 МГц истифода кардем. Дурустии чен кардани суръати паҳншавии УС 0,1%-ро ташкил дод. Ченкунии сулфури гудохтаи аз ҷиҳати химиявӣ тоза дар диапазони ҳарорати аз нуқтаи гудохташавии 385,8 то 693 К гузаронида шуд. Ченкуниҳо дар атмосфераи аргони тозагиаш баланд гузаронида шуданд. Мавҷгузаронандаҳо ва зарфҳо аз (кварс) гудохташуда сохта шуда буданд. Ҳарорат бо термометри хромел-алюмел назорат карда шуд.

Дар расми 3.4 маълумоти таҷрибавӣ оид ба вобастагии суръати паҳншавии УС аз ҳарорат [75] дар сулфури моеъ оварда шудааст. Аз расми 3.4 бармеояд, ки дар минтақаи 433 К тағйирёбии тези коэффитсиенти ҳароратии суръати УС ба вучуд меояд, ки аз намудаш бо ҳамон сабабҳое, ки ҳаспакии максималӣ дорад, ба амал меояд [76-77].

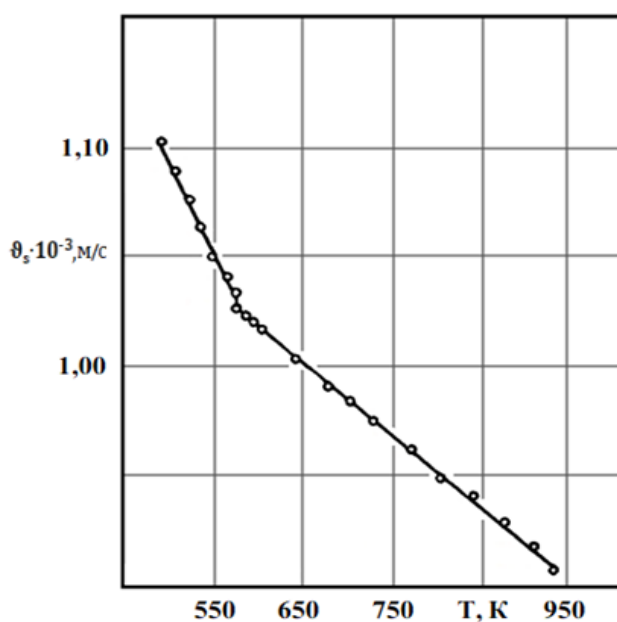


Расми 3.4. –Натиҷаҳои ченкунии суръати паҳншавии ултрасадо дар сулфури моеъ

Баъдан, мо вобастагии суръати паҳншавии УС-ро аз ҳарорат дар гудохтаи селени тамғаи «О.С.Ч» омӯхтем (расми 3.5). Намунаи кварсии зарфи нигоҳдорандаи селени моеъ истифода шуд. 10-то намунаҳои гудохтаҳои гуногунро таҳқиқ кардем. Ченкуниҳо дар басомадҳои 3-4 МГц гузаронида шуданд. Сигнали баромад дар шиддати баромади 30 В ба 700-800 мВ баробар буд. Бе қабати ангидриди бор сигнали баромад баъди нигоҳ доштани гудохта тӯли 3 соат дар 1000 К пайдо шуда, хеле ноустувор буд ва дар ҳоле, ки мавҷи садо ба 0,5 мВ мерасид амплитуда аз 0,7 мВ зиёд намешуд. Аз ин маълумотҳо душвории ченкуни бо алоқаи сусти акустикӣ маълум мегардад. Хатогии миёнаи мутлақи тасодуфии 10 ченкунии суръати УС-и гудохтаҳои гуногун дар ҳарорати муқарраршуда ва дар ҳамаи диапазони ҳарорати таҳқиқот $\pm 1,5$ м/с буд. Намунаҳои селен дар шакли гранулаҳо тавассути шахта ба дохили таҷҳизот дохил карда шуданд [72]. Дар ин ҷо он аз сабабе зарур буд, ки селенро аз ҳад зиёд гарм кардан бо вучуди доштани фишори баланди буғҳои сершуда дар ҳароратҳое, ки дар амалиёти ба даст овардани алоқаи акустикӣ баландсифати оптималӣ зарур аст, ғайриимкон буд. Политермаи суръати паҳншавии УС дар 580 К шикаста мешавад ва дар

доираи аз нуқтаи гудозиш то 580 К нишебӣ ба меҳвари ҳарорат тақрибан ба $-0,1 \div 0,4$ м/с К баробар аст.

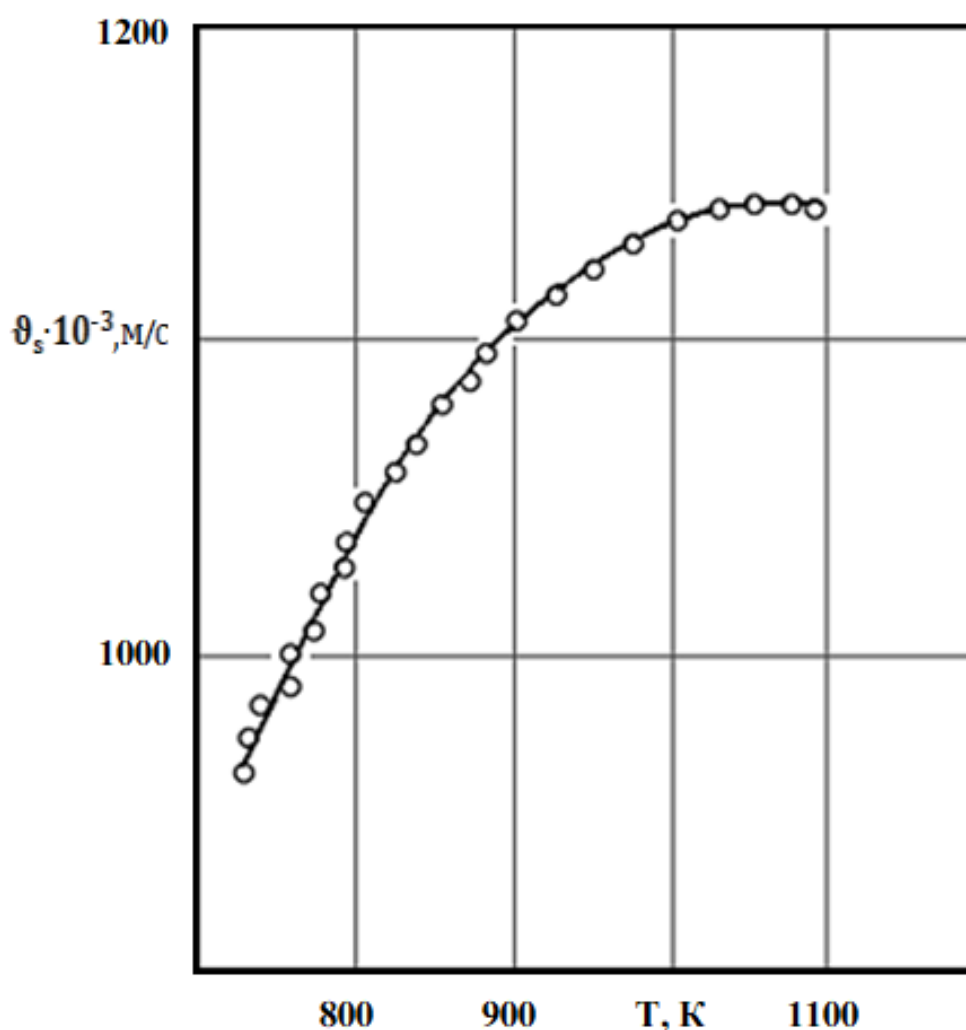
Ин ҳолат якҷоя бо он далел, ки дараҷаи электрогузаронӣ хеле паст аст [78-80], аз табиати шакли молекулавӣ доштани селени моеъ шаҳодат медиҳад. Барои моеъҳои молекулавӣ вобастагии ҳарорат аз суръати паҳншавии УС, чун қоида, нисбат ба металлҳои моеъ қавитар аст [81-83]. Илова бар ин, бояд қайд кард, ки дар мавриди селени моеъ қоидаи эмпирикии Рао, ки одатан ба моеъҳои молекулавӣ татбиқ мешавад [82], хеле хуб амалӣ мегардад. Дар воқеъ, таносуби коэффитсиенти ҳарорати суръати паҳншавии УС $\frac{d\theta_s}{\theta_s \cdot dT}$ ба коэффитсиенти ҳарорати васеъшавии ҳаҷмӣ $\frac{dV}{V \cdot dT}$ амалан ба 3 баробар аст. Ҳарорати шиканиш дар политерма θ_s бо он мувофиқат мекунад, ки дар он тағйироти зудӣ ҳарорати часпакӣ мушоҳида мешавад ва махсусан, дар вобастагии ҳарорат аз энергияи озоди фаъолшавии ҷараёни часпаки селени моеъ равшан зоҳир мешавад [77, 80]. Чунин вобастагии ҳарорат аз суръати паҳншавии УС дар селени моеъ зоҳиран бо сохтори мураккаби он низ алоқаманд аст [79]. Мувофиқи маълумоти адабиёт селен дар ҳолати саҳти аз молекулаҳои спиралии дарози параллелӣ ҷудошудаи Se-----Se, ки то ҳарорати муайян дар ҳолати моеъ мемонанд, ба вуҷуд меояд [84-86].



Расми 3.5. –Натиҷаҳои ченкунии суръати паҳншавии ултрасадо дар селени моеъ

Дар расми 3.6 натиҷаҳои таҳқиқоти вобастагии суръати паҳншавии УС аз ҳарорат дар гудохтаи теллури тамғаи ТА-1 5 гудохтаи гуногун нишон дода шудааст.

Теллур моддаи чарсаки рангаш сафеди нукрагин буда, ҷилои металлӣ дорад. Дар ҳолати гудохта теллур хеле ғайрифайдал аст, бинобар ин, онро ҳамчун маводди контейнерӣ барои омӯзиши хосиятҳои физико-химиявӣ ва ҳангоми гудохтан аз графит ва кварс истифода мебаранд. Аз ин рӯ, мо кварсро ҳамчун зарф ё барои омӯзиши хосиятҳои УС-ии теллур истифода бурдем.



Расми 3.6. –Натиҷаҳои ченкунии суръати паҳншавии ултрасадо дар теллури моеъ

Натиҷаҳои ченкунии суръати паҳншавии УС барои теллур ба таври графикӣ дар расми 3.6 оварда шудаанд. Дидан мумкин аст, ки дар ҳарорати 1098 К суръати паҳншавии УС ҳадди аксар дорад, ки мавҷудияти якчанд сохторро дар гудохташавии он нишон медиҳад. Бо тадриҷан кам шудани

арзишҳои максималии вобастагии ҳарорат аз суръати УС шиддатнокии тағйироти сохторӣ коҳиш меёбад. Дар баробари ин, ин дигаргуниҳои структурӣ дар ҳароратҳои муайян ба охир мерасанд.

Аз ин рӯ, чунин бармеояд, ки гудохтаи теллур дар ҳолати моеъгӣ микрогетерогенӣ буда, дорои кластерҳо (ҳосилшавӣ бо мӯҳлати ниҳони умр) сохтор ва зичии гуногун мебошад. Дар ин кластерҳо баъди гудоختан элементҳои шабоҳати сохтори тартиби дур бо сохтори теллури саҳт нигоҳ дошта мешаванд.

Тибқи модели Холл, сохтори теллурро ҳамчун омехтаи ду сохтор бо ифодаи ададҳои координатии гуногун баррасӣ кардан мумкин аст. Ин ба ҳулосаҳои назарияи химиявии кристаллии ирсият мувофиқат мекунад, ки мувофиқи он, ба андешаи мо, ин сохторҳо аз ду шакли кластерҳо иборатанд. Онҳо зичии ғайриякҷинсаи паст ва баландро нишон дода, сохтори онҳо аз конфигуратсияҳои тетраэдралӣ ва икосаэдрӣ иборат аст. Таҷриба оид ба омехтани суръати УС нишон дод, ки баробари баланд шудани ҳарорат таносуби кластерҳои зичии пасттар меафзояд ва ин боиси зиёд шудани суръати паҳншавии УС мегардад.

3.4. Таҳқиқи хосиятҳои ултрасадоии гудохтаҳои системаҳои In-S, In-Se ва In-Te бо мақсади муайян кардани координатаҳои критикӣ дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ

Муайян намудани мавқеи хатти моновариантии мувозинатӣ, ки минтақаи ба қабатҳо ҷудошавиро дар гудохтаҳои дукомпонента маҳдуд мекунад, дар иҷрои таҷрибавии масъалаи физикавӣю химиявӣ хеле душвор аст [87-91].

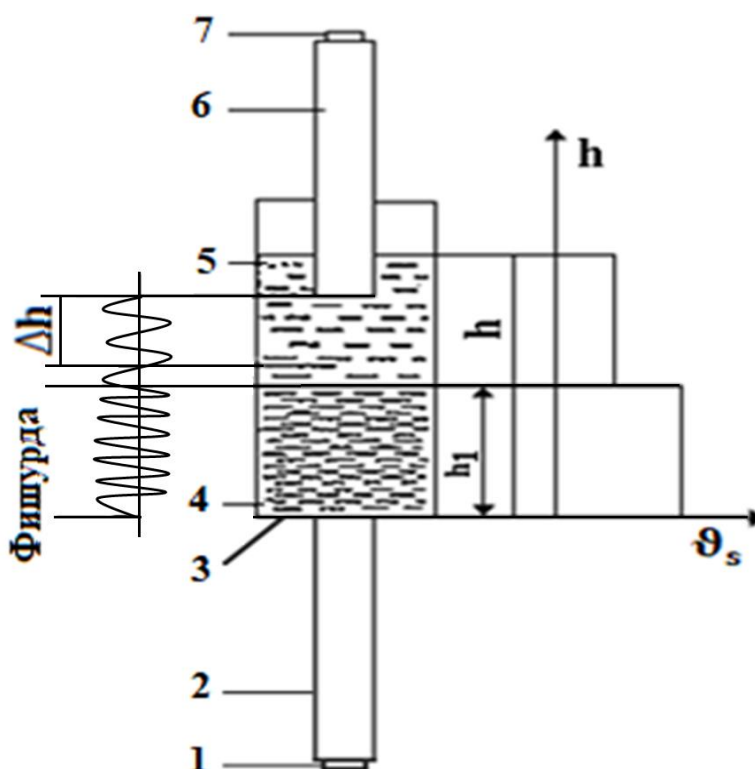
Дар айни замон, барои ҳалли ин масъала (муайян кардани минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ, таркиби критикӣ ва ҳарорати критикӣ) усулҳои гузаронидани ченкунии зерин бештар истифода мешаванд: ченкунии чараёнгузаронӣ; часпакӣ; зичӣ; фишори буғ дар ҳубобчаи газ; таҳлили дифференсиалӣ-гармӣ; хунук кардани ҳолати моеъ бо таҳлили минбаъдаи металлографӣ ва ғайра.

Усули ченкунии суръати паҳншавии УС асосан барои омӯзиши моеъҳои қабатҳои молекулавидошта истифода мешуданд ва барои омӯзиши зухуроти муҳими системаҳо, ки майдони мувозинати дуфазавии онҳо дар диаграммаҳои ҳолат мувофиқ бо усулҳои дигар ба таври возеҳ муайян карда шудааст (мушоҳидаҳои оптикӣ, визуалӣ аз рӯйи абрнокӣ ва пайдоиши гумбазҳо дар байни ду қабат, ки дар он моеъҳо қабат ба қабат ҷудо шудаанд) [81-82]. Аммо моддаҳои бо якдигар омехта нашавандаи ношаффоф [68] ва махсусан, гудохтаҳои металлӣ ва нимноқилӣ то ҳол хеле кам омӯхта шудааст. Аз 80 системае, ки онҳо мувофиқи [15-21], минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар ҳолати моеъгӣ мушоҳида шудааст, танҳо чанде аз онҳо маълумоти таҷрибавиеро пешниҳод мекунанд, ки гумбази минтақаи дуфазавии моеъи₁ + моеъи₂ (M_1+M_2)-ро ифода мекунад. Дар ҳама ҳолатҳои дигар ин минтақаҳо танҳо дар кунҷҳо бо хатҳои тире-тире нишон дода шудаанду халос. Таҳлили маълумотҳо ва адабиёти илмии давраи баъдӣ нишон дод, ки ҳолати кор дар муносибат бо минтақаи гудозиши гудохтаҳо дар системаҳои дукомпонентаи металлӣ ва нимноқилӣ амалан тағйир наёфтааст. Ҳолати зикршуда, ба андешаи мо, бо мавҷуд набудани усули таҷрибавӣ имкон медиҳад мавқеъҳои хатти мувозинати моновариантӣ боэътимод муқаррар карда шавад, ки минтақаи ҷудошавии гудохтаро дар ҳолати моеъ маҳдуд мекунад [91].

Моҳияти усули акустикӣ аз он иборат аст, ки муайян кардани хатти мувозинатии моновариантӣ моеъ \Leftrightarrow моеъ дар диаграммаҳои мувозинати фазавии системаҳои дукомпонента бо ҷудокунии компонентҳо дар фазаи моеъ, ки намунаи таҳқиқшаванда бо мавҷҳои УС санҷида мешавад ва суръати паҳншавии онҳо дар масофаҳои гуногун аз поёни зарфи металли моеъ ҷойгиршуда (кварс) чен карда мешавад.

Дар расми 3,7 нақшаи зарфи муайян кардани суръати паҳншавии УС дар моеъи ба қабатҳо ҷудошаванда бо усули акустикӣ нишон дода шудааст. Мавҷи садо аз афканандаи 1 (СТС) тавассути ноқили садогузаронандаи поёни (кварс) 2 ба гудохтаи таҳқиқшуда, ки дар зарфи 3 (кварс) ҷойгир шудааст, ворид мешавад. Гудохта ба ду қабати 4 ва 5 тақсим мешавад. Баъди

гузаштан аз ғафсии гудохтаи таҳқиқшуда мавҷи УС тавассути ноқили садои болои ҳаракаткунандаи 6, ки ба қабулкунандаи 7 пайваст шудааст, қабул мешавад [69].



Расми 3.7. –Нақшаи зарфи ченкунии суръати паҳншавии ултрасадо вобаста ба баландӣ дар гудохтаҳои ба қабатҳо ҷудошаванда

Бо ёрии винти микрометрӣ ба масофаи муайян ҳаракат додани ноқили болоии ҳаракаткунандаи садо $\Delta h = n$, мо имконият пайдо мекунем, ки қимати суръати паҳншавии УС дар минтақаи Δh -ро муайян намоем.

Пайдарпай бо ҳаракат додани ноқили садогузарандаи болоӣ имкон дорад, ки тағйирёбии суръати паҳншавии УС дар баландии гудохта мавриди омӯзиш қарор гирад ва ҷаҳиши онро ҳангоми гузаштан аз сарҳади марҳилаи байни минтақаҳои 4 ва 5 муайян карда шавад. Дар расм аз тарафи чап мавҷи ҳамвори синусоидалӣ, ки дарозии мавҷаш дар қабати поёни нисбат ба қабати болоӣ дарозтар аст ба таври схематикӣ нишон дода шудааст. Тақсимои фазоии фазаҳои мавҷҳо хусусияти статсионарӣ дорад, яъне дар ҳар лаҳзаи вақт, қаратнокии давраи лаппиш дар ҳамворие, ки дар масофаи беихтиёр аз охири зарфи металли моеъ чойгиршуда воқеъ аст, ҳамон фазаи мавҷ ба амал меояд. Вақте ки ноқили садогузаронандаи болоӣ

ба масофаи муайян ба поён кӯчонида мешавад, $n\lambda$ дар экрани осиллограф бо агрегати пурқувваткунандаи дифференциалӣ, ки вуруди дуоми он бо сигнали когерентии синусоидалӣ аз ҳамон генератор дода мешавад, ки интерференсияро ба вучуд меорад, n хомӯшшавии сигнали умумӣ мушоҳида мешавад. Бо бақайдгирии ҷойгиркунии умумӣ $\Delta h = n\lambda$ ва муқаррар намудани басомади f суръати УС аз рӯйи таносуби $\vartheta_s = f \frac{\Delta h}{n}$ муайян карда мешавад, ки ба формулаи $\vartheta_s = f \cdot \lambda$ шабеҳ аст. Азбаски дарозии мавҷ, ки ҳамчун $\lambda = \frac{\Delta h}{n}$ муайян карда мешавад ҷузъи ғафсии гудохта мебошад Δh , пас суръат ϑ_s махсусан ба ин объекти гудохта дахл дорад.

Ҳамин тавр, бо роҳи чен кардани $\Delta h = n\lambda$ сатҳҳои гуногун дар баландии h метавонем чаҳиши $\Delta\vartheta_s$ -ро дар сарҳади байни қабатҳо, ки дар баландии h_1 , тавре ки дар $\vartheta_s - h$ нишон дода шудааст, муайян кунем. Бояд қайд кард, ки тамоми ғафсии гудохта то масофа $\Delta h = n\lambda$ аз ноқили болоии садоӣ танҳо як муҳити садонок аст ва суръати ченкунии УС ба модда танҳо дар ғафсии хурд дахл дорад $\Delta h = n\lambda$. Ҳамин тариқ, аввалин хусусияти техникаи омӯзиши моеъҳои ба қабатҳо ҷудошаванда ин ченкунии суръати паҳншавии УС вобаста ба баландии болои охири ноқили садоии поёнӣ мебошад, яъне аксирии $\vartheta_s - h$ хусусиятҳо.

Хусусиятҳои $\vartheta_s - h$ -ро дар ҳарорати гуногун ба назар гирифта, метавонем нопадидшавӣ ё пайдоиши сарҳади байни қабатҳоро муайян кунем, яъне ҳарорати ҷудокуниро ошкор намоем ва агар таркиби ибтидоии намуна муҳим набошад, пас метавонем ҳаракати зинаи $\Delta\vartheta_s$ дар баландии h аз рӯйи ҳаракати мувофиқи сарҳади байни қабатҳо аз ҳисоби тағирёбии таносуби ҳаҷми фазаҳо мушоҳида кунем. Дар таркиби критикӣ массаҳои фазаҳои ҷудошуда дар ҳама ҳароратҳо аз уфуқи монотектикӣ то ҳарорати критикӣ ҳаҷман баробаранд [69].

Барои дақиқ муайян кардани ҳарорати пайдо шуда ё нопадидшавии $\Delta\vartheta_s$ дар $\vartheta_s - h$ характеристикаи ченкуниҳо $\Delta h = n\lambda$ бояд дар тамоми баландии намуна бо қадами хурдтарин гузаронида шаванд [69], зеро дар таркиби

гудохтаи аввалаи ба нуқтаҳои монотектикӣ қадамҳо $\Delta\vartheta_s$ наздик ба поёни зарф, ё дар сатҳи намуна сутуни болоии гудохта пайдо шуданаш мумкин аст. Ин хусусияти дуҷуми усули муайян намудани сарҳади ба қабатҳо ҷудошавии металлҳо мебошад. Аён аст, ки дар ин маврид ҳатогихо дар натиҷаи падидаҳои интерференсия дар наздикии охири ноқили садогузаронандаи поёнӣ ва сарҳади байни қабатҳоро нодида гирифтани мумкин нест. Аммо дар ин маврид мақсад аз он иборат аст, ки сарҳади байни қабатҳо дуруст муайян карда шавад, на суръати УС. Андозаи зинаи $\Delta\vartheta_s$, ки дар охири ноқили садогузаронандаи поёнӣ муайян карда мешавад, нисбат ба ҳатогихо аз падидаҳои интерференсия хеле калонтар аст, зеро фарқи консентратсияи компонентҳо дар ин ҳолат хеле калон аст [69].

Агар ченкуниҳо бо баландкунии ҳарорат аз ҳарорати ҳатти монотектикӣ гузаронида шаванд, пас мо фавран ду қабатро доро мешавем, ки таркиби онҳо дар қад-қади гунбази қабатнок тағйир ёфта, дар ДХ фосилаи консентратсия бо афзоиши ҳарорат то баромад аз минтақаи дуфазагӣ кам мешавад. Вақте ки ба гунбази ба қабатҳо ҷудошавӣ мерасад, яке аз фазаҳо нопадид мешавад ва ҳангомӣ боз баланд шудани ҳарорат маҳлули якҷинса боқи мемонад (дар сурати намунаи дорои таркиби критикӣ, фазаҳо дар як вақт нопадид шуда, маҳлули якфазагии таркиби ибтидоиро ба вучуд меорад). Гузариш аз ҳолати дуфазавӣ ба ҳолати якфазавӣ бо суръати пасти диффузияи атомҳои компонент метавонад ба таври кинетикӣ монез шавад ва зинаи $\Delta\vartheta_s$ дар хусусияти $\vartheta_s - h$ мавқеи нав мегирад ва аз марҳилаи норавшан ба ҳатҳои ҳамвор мегузарад. Барои тезонидани равандҳои ҳалшавӣ массаи гудохта бояд омехта карда шавад. Аммо омехтакунии дурустии муқаррар намудани ҳарорати гузаришро хеле норавшан мекунад ва ҳар дафъа баъди омехта кардан гудохтаро дар ҳарорати доимӣ муддати дароз нигоҳ доштан лозим аст, то ки система ба ҳолати мувозинати термодинамикӣ ояд. Дигар масъала ин ченкунии ҳангоми хунук будан аст.

Азбаски ба қабатҳо ҷудошавии моеъи якҷинса ҳангоми расидан ба ҳарорати критикӣ худ ба худ ва дар баъзе ҳолатҳо ба таври катастрофӣ ба

амал меояд ва дар ин ҳолат ҳеҷ гуна омехтакунии дастӣ ва муддати дароз дар ҳарорат нигоҳ доштанро талаб намекунад. Нигоҳдории дарозмуддат лозим нест ва ҳангоми паст гардидани ҳарорат намунаи таҳқиқшаванда аллакай ба қабатҳо ҷудошудааст. Ҳамин тавр, ҷудошавии фазаҳои нав ба вуҷуд меояд (дар ҳарорати нав дар муқоиса бо пештара ҳарорат паст карда шудааст) андозаҳои макроскопӣ дар майдони гравитатсионӣ ба осонӣ ҷудо мешаванд [90].

Бояд гуфт, ки ҷудошавии гравитатсионии фазаҳои ташаккулёфта хеле зуд [90], зиёда аз 1 дақиқа давом мекунад. Раванди ҷудошавии гравитатсионӣ бо сустшавии суръати УС ва дар экрани осиллограф мушоҳида мешавад, зеро ҳангоми мушоҳида амплитудайи сигнали баромад кам мешавад. Баъди ба охир расидани раванди ҷудошавӣ амплитудайи сигнали баромад боз зиёд шуда, муътадил мегардад, ки дар вақти таҷриба бо металлҳо ва нимноқилҳо мушоҳида карда шуд.

Пай мебарем, ки ҳангоми гармкунӣ тадриҷан ҳалшавии атомҳо дар ҳаҷми намуна ба амал меояд, ки суръати он на ба ҷудошавии стихиявии фазаҳо дар тамоми ҳаҷми ғудохта, балки бо диффузия тавассути сарҳади байни қабатҳо маҳдуд мешавад. Ҳамин тариқ, барои дақиқ муайян кардани ҳарорати ба қабатҳо ҷудошавӣ ва пешгири кардани ҳарочоти беасос ченкунӣ бояд дар вақти паст гардидани ҳарорат анҷом дода шавад. Ин хусусияти сеюми техникийи тавсифшуда барои омӯзиши ба қабатҳо ҷудошавии моеъҳо (металлҳо ва нимноқилҳо) мебошад.

Мо пайдарпайии амалиётҳои дар боло тавсифшударо ҳангоми омӯзиш ва муайян кардани минтақаи ба қабатҳо ҷудошавии ғудохтаҳо дар системаҳои In- V^{VI} - (дар ин ҷо, V^{VI} -S, Se, Te аст) ва барои системаҳои дигар низ амалӣ намудем [89-108]. Дар асоси ин усул аз рӯйи диаграммаҳои фазавии системаҳои дучандаи таҳқиқшуда дар бораи минтақаҳои ба қабатҳо ҷудошавии ғудохта маълумотҳои боэътимод гирифта шуд. Чен кардани суръати паҳншавии УС бо усулҳои импульсӣ-фазавӣ дар мавҷи гузаранда бо заминаи акустикийи тағйирёбанда имкон медиҳад, ки маълумотҳои боэътимоди таҷрибавӣ оид ба минтақаҳои ба қабатҳо ҷудошавии

системаҳои гудохтаҳои дучанда сохта шавад ва аз ҷониби мо ҳамчун таҷрибаҳои боэътимод системаҳои ба қабатҳо ҷудошавандаи гудохтаҳо тавсия карда мешаванд [71].

Ҳангоми дар экрани осиллограф бо блоки пуркуваткунандаи дифференсиалӣ, ки ноқили садои болоӣ ба масофаи дур $n\lambda$ (дар ин ҳолат $n = 2$) ба поён кӯчонида мешавад, ки вуруди дуҷуми он бо сигнали когерентии синусоидалӣ аз ҳамон генератор дода мешавад, ки он инчунин шиддати пармакунии гудохтаро тавлид мекунад, аз ҷониби n маротиба хомӯш шудани сигнали умумӣ ба амал меояд. Бо ба қайд гирифтани ҷобаҷогузориҳои умумӣ $\Delta h = n\lambda$ ва муқаррар кардани басомади f , суръати паҳншавии садоро аз рӯйи таносуби $\vartheta_s = f \cdot \frac{\Delta h}{n}$ пайдо мекунем, ки он ба формулаи $\vartheta_s = f \cdot \lambda$ яқхела аст. Азбаски дарозии мавҷ, ки ҳамчун $\lambda = \frac{\Delta h}{n}$ муайян карда мешавад, ҷузъи ғафсии гудохта Δh мавҷуд аст, суръати ϑ_s низ маҳз ба ин ҳаҷми гудохта дахл дорад [71].

Ҳангоми таҷриба дар минтақаи ҷудошавӣ дар ҳароратҳои гуногун метавон нопадид ё пайдо шудани сарҳади байни қабатҳоро муайян кард, яъне ҳарорати оғози ҷудошавиро муқаррар намуд. Бо истифода аз арзишҳои суръати паҳншавии УС дар қабатҳои яқум ва дуҷум дар ҳар як ҳарорати додашуда вобастагии ϑ_s -ро дар қад-қади хатти моновариантии мувозинатии моеъ-моеъ сохтан мумкин аст, ки барои соختани гунбази ҷудошавӣ дар диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ ҳамчун асос мебошад. Барои ҳалли ин масъалаи охири вобастагии ҳарорати ϑ_s -ро аз минтақаи ҷудошавӣ барои ҳӯлаҳои таркибашон гуногун омӯхта, онро ба бурриш бо вобастагии хат ϑ_s қад-қади гунбази ба қабатҳо ҷудошавӣ экстраполятсия кардан лозим аст. Нуқтаҳои буриш ба ҳароратҳои оғози ба қабатҳо ҷудошавии ҳӯлаҳои таркибҳои муайян мувофиқанд. Дар натиҷа дар бораи координатаҳои нуқтаҳои тасвирӣ, ки хатти қачи моновариантии мувозинати моеъро дар ДХ-и Т-х ташкил медиҳанд, ҳамаи маълумоти заруриро ба даст овардан мумкин аст [71].

Омӯзиши системаи In-Se дар минтакаи ба қабатҳо ҷудошаванда.

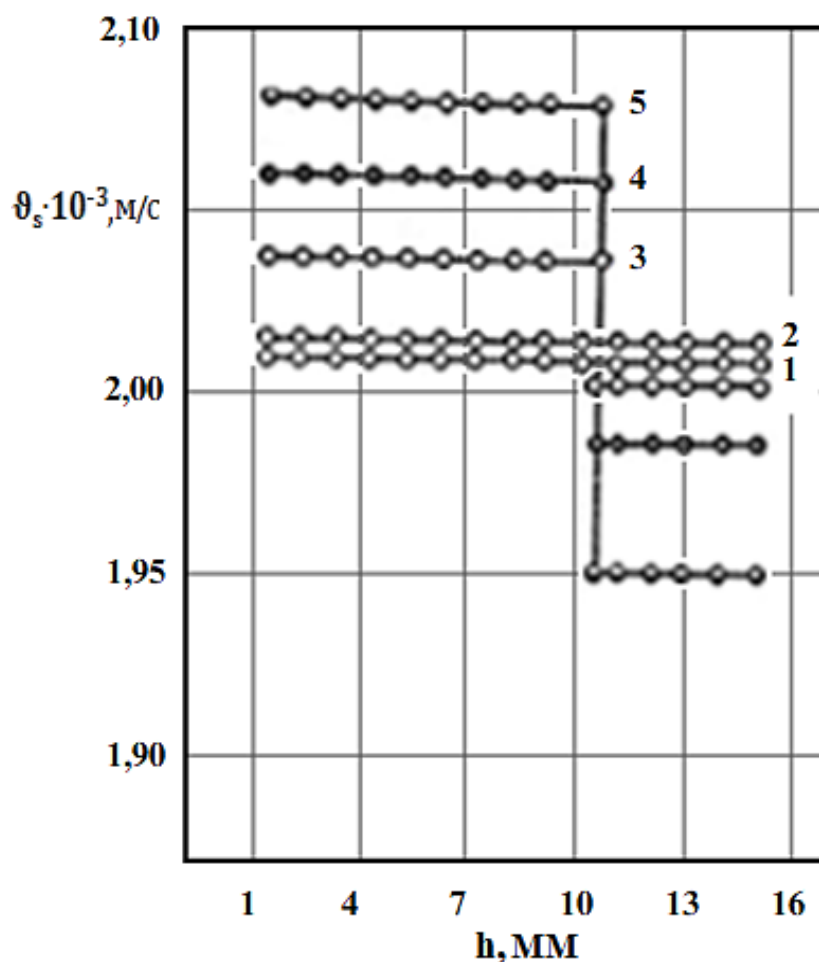
Омӯзиши ба қабатҳо ҷудошавии системаҳои дукомпонентаи металлӣ ва нимноқилӣ (бо нуқтаи махсуси ҳарорат-ҳарорати ҷудошавӣ, ҳарорати критикӣ, таркиби критикӣ ва ғ.) дар ҳолати моеъ барои дақиқ кардани маълумот дар бораи табиати гузаришҳои фазавӣ аҳамияти калон дорад. Ин масъалае, ки ба ғудохтаҳои электронии ношаффоф (ғудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳо) дахл дорад, то ба наздикӣ ҳали худро наёфтааст.

Миқдори хеле зиёди корҳои таҷрибавӣ ба омӯзиши часпакӣ, гармигузаронӣ, ноқилияти металлҳои моеъ ва нимноқилҳо, инчунин, ба омӯзиши онҳо бо усулҳои рентгенӣ ва дифраксияи нейтронӣ бахшида шудаанд [109-112]. Маълумотҳои заруриро дар бораи сохтори ғудохтаҳо, инчунин, аз маълумотҳои УС дар бораи суръати паҳншавӣ ва ҳомушшавии УС ба даст овардан мумкин аст [71].

Барои ҳалли вазифаи мазкур дар робита ба синфҳои ғудохтаҳои металлӣ ва нимноқилии зикршуда мо ба ҳулосае омадем, ки усули УС-ро барои омӯзиши ба қабатҳо ҷудошавӣ ҳангоми ғудохтани системаҳои дучанда истифода барем [113-114].

Дар ин бахш натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии минтакаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаи In-Se бо усули УС оварда шудааст.

Ба сифати маводди ибтидоӣ индий (Ин-000) ва селен-тамғаи «ОСЧ» барои тайёр кардани хӯлаҳо истифода шуданд. Намунаҳо дар ампулаҳои кварсӣ ҷойгир карда шуда, ҳавои дохилаш то 10^{-4} Па кашида гирифта шудааст ва бо усули кафшеркунӣ баста шуданд. Дар ҳарорати ғудозиши индий ва селен намунаҳоро 2 соат нигоҳ дошта, синтези асосиро дар 950 К дар давоми 3 соат бо омехтакунии пуршиддати механикӣ анҷом додем ва дар ниҳоят онро (яъне ампуларо) дар ҳаво зимни дар як вақт ҷунбонидан то мустаҳкам шудани намунаҳо хунук кардем. Ҷенкунӣ дар фазои аргони тозагиаш баланд дар диапазони басомади 1-3 МГц гузаронида шуд. Хусусиятҳои асосии техникийи омӯзиши ғудохтаҳои ба қабатҳо ҷудошавии металлҳо ва нимноқилҳо бо усули УС дар [87-88] тавсиф карда шудааст.

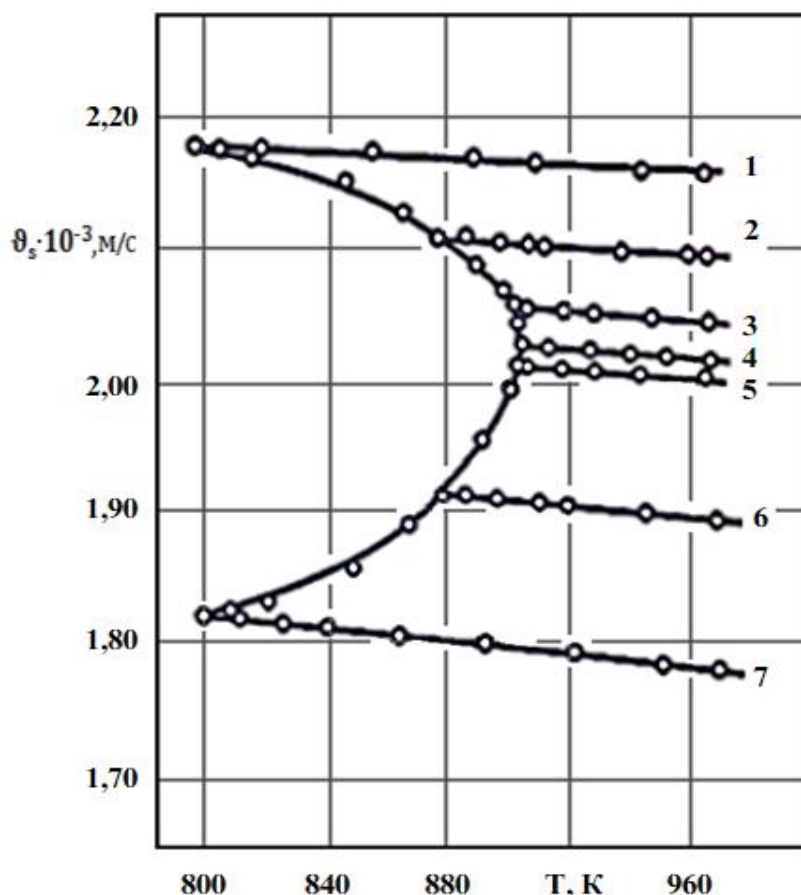


Расми 3.8. –Тағйирёбии суръати ултрасадо дар гудохтаи $\text{In}_{0,83} - \text{Se}_{0,17}$ вобаста ба баландии сутуни моеъ (1-5. - 930, 917, 910, 903, 893 T, K)

Дар расми 3.8 натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии суръати паҳншавии УС v_s вобаста ба баландии h сутуни моеъи таркиби намунаи ибтидоии $\text{In}_{0,83} - \text{Se}_{0,17}$ дар ҳароратҳои гуногун оварда шудааст. Маълум аст, ки дар ҳароратҳои 930 ва 917 K (хатти 1 ва 2) хатҳои $v_s - h$ хатҳои рости параллел мебошанд, яъне суръати паҳншавии УС аз баландӣ, ки якҷинса будани таркиби онро нишон медиҳад вобаста нест. Аммо, дар ҳарорати 910 K дар $v_s - h$ характеристика (хатти 3) ҷаҳиши суръати УС мушоҳида мешавад. Ин далели ҷудошавии гудохтаро ба ду фазаи моеъ, ки аз рӯйи бузургии суръати паҳншавии УС, ки бо суръати паҳншавии УС фарқ мекунад, муқаррар мекунад [69]. Минбаъд, дар ҳароратҳои 903 ва 893 K, фарқи Δv_s пайваستا зиёд мешавад (расми 3.8, хатҳои 4 ва 5), ки он бо пастшавии ҳарорат афзоиши фосилаи $v_s - h$ характеристикаро дар қабатҳо нишон медиҳад.

Чи тавре ки дар расми 3.8 дида мешавад, зинаҳои $\theta_s - h$ характеристикаҳои 3-5 дар як баландӣ бо дақиқии зиёд сабт карда мешаванд. Далели он, ки сарҳади байни қабатҳо дар як мавқеъ бо тағйирёбии ҳарорат нигоҳ дошта мешавад, танҳо аз нав тақсимшавии атомҳои компонентҳо бидуни тағйир додани ҳаҷми фазаҳо шаҳодат медиҳад. Азбаски ҳарорати ҷудошавӣ хеле дақиқ муайян карда шудааст, ҳарорати $\theta_s - h$ - характеристикаи 3 (910 K)-ро ба ҳарорати критикии ин система [69] наздик ҳисобидан мумкин аст.

Маълумоте, ки дар расми 3.8 оварда шудааст, имкон медиҳад, ки вобастагии суръати паҳншавии УС қад-қади хатти моновариантӣ моеъ - моеъ пурра сохта шавад. Ин арзишҳоеро талаб мекунад, ки ба шохаҳои боло ва поёнии $\theta_s - h$ - хусусиятҳо (расми 3.8) вобастагии ҳарорат мавҷуд аст. Дар натиҷа хатти умумиро ба даст меорем, ки ба вобастагии суръати паҳншавии УС дар қад-қади гумбази ба қабатҳо ҷудошавӣ мувофиқ аст (ниг. расми 3.9).

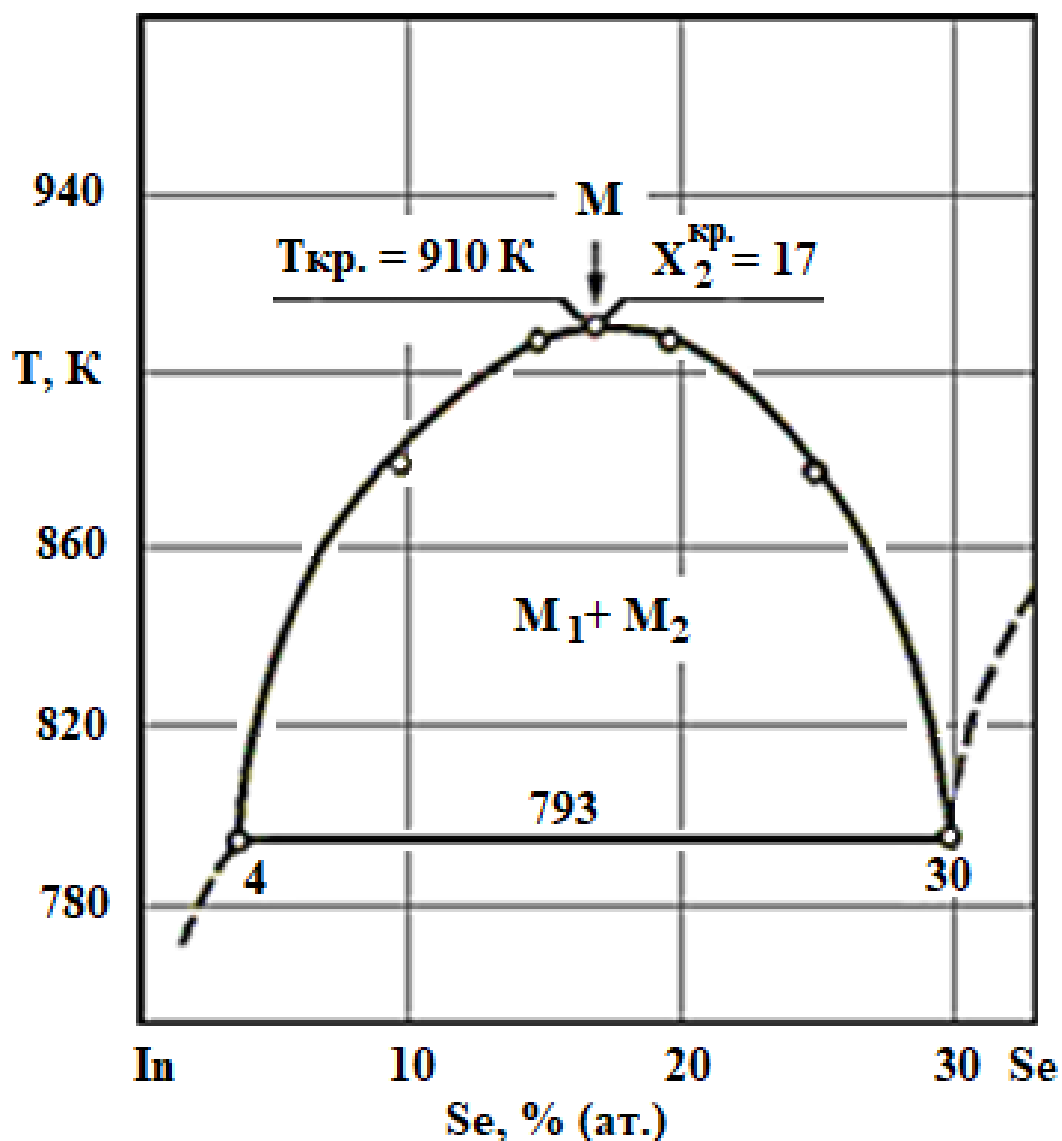


Расми 3.9. –Вобастагии суръати ултрасадо аз консентратсия дар гудохтаи In-Se. Политермаҳои 1-7 (4, 10, 15, 17, 20, 25, 30% ат. Se)

Ин натиҷа дар навбати худ имкон медиҳад, ки дар ДХ-ии системаи In-Se хатти моновариантии мувозинати моеъу - моеъ сохта шавад. Барои ин, вобастагии ҳарорати суръати паҳншавии УС-ро барои гудохтаҳои таркибашон гуногун дар ҳарорати болотар аз минтақаи ҷудошавӣ [69] муқаррар кардан ва ин вобастагиро то ба бурриши хатте, ки вобастагии ϑ s-ро дар баробари гумбази ба қабатҳо ҷудошавӣ тавсиф мекунад, экстраполятсия кардан лозим аст. Нуқтаҳои буриш, ки ба ҳарорати муайян мувофиқат мекунанд, координатаҳои нуқтаҳои тасвирии хатти мувозинати моновариантии моеъ-моеъро муайян намоянд [69].

Дар асоси ин, мо вобастагии ҳароратро аз суръати паҳншавии УС-и таркиби ϑ s 7-то намунаро таҳқиқ кардем (ниг. расми 3.9). Аз расм дида мешавад, ки вобастагии ҳарорати суръати паҳншавии УС аз ҳарорати ҷудошавӣ (расми 3.9, политермаҳои 1-7 мутаносибан) баландтар характери хаттӣ дорад, ки ин имкон медиҳад то ки онҳо ба буриши хатти қач ба вобастагии суръати паҳншавии УС қад-қади гумбази ба қабатҳо ҷудошавӣ ба таври боэътимод экстраполятсия карда шаванд.

Расми 3.9 нишон медиҳад, ки дар $T > T_{кр}$ ҳама политермаҳо ба меҳвари ҳарорат нишебии манфӣ доранд (яъне бо баланд шудани ҳарорат дар паси гумбази ба қабатҳо ҷудошавӣ суръати УС арзиши манфӣ дорад). Чунин тағйирёбии суръати паҳншавии УС $T > T_{кр}$ комилан фаҳмо аст, зеро баъди $T_{кр}$ маҳлули якҷинса мавҷуд аст. Ин чун қоида барои металлҳо хос аст. Тавре ки аз расм дида мешавад, дар политермаҳои суръати УС ягон ҳодисаҳои аномалӣ пайдо нашудааст. Аз ҳарорати ба қабатҳо ҷудошавӣ сар карда, ба таври хаттӣ кам мешаванд. Мутобиқи хулосаҳо [115-118], ин далел нишон медиҳад, ки дар ин система рушди ошқори тағйирёбии калони концентратсия вучуд надорад. Мувофиқи маълумоти дар расми 3.9 овардашуда, хатти қачи моновариантии мувозинати моеъ-моеъ дар системаи In-Se сохта шудааст ва дар расми 3.10 ҳамчун қисми диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ нишон дода шудааст.



Расми 3.10. –Қисми диаграммаи фазавии системаи индий-селен дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар ҳолати моеъгӣ

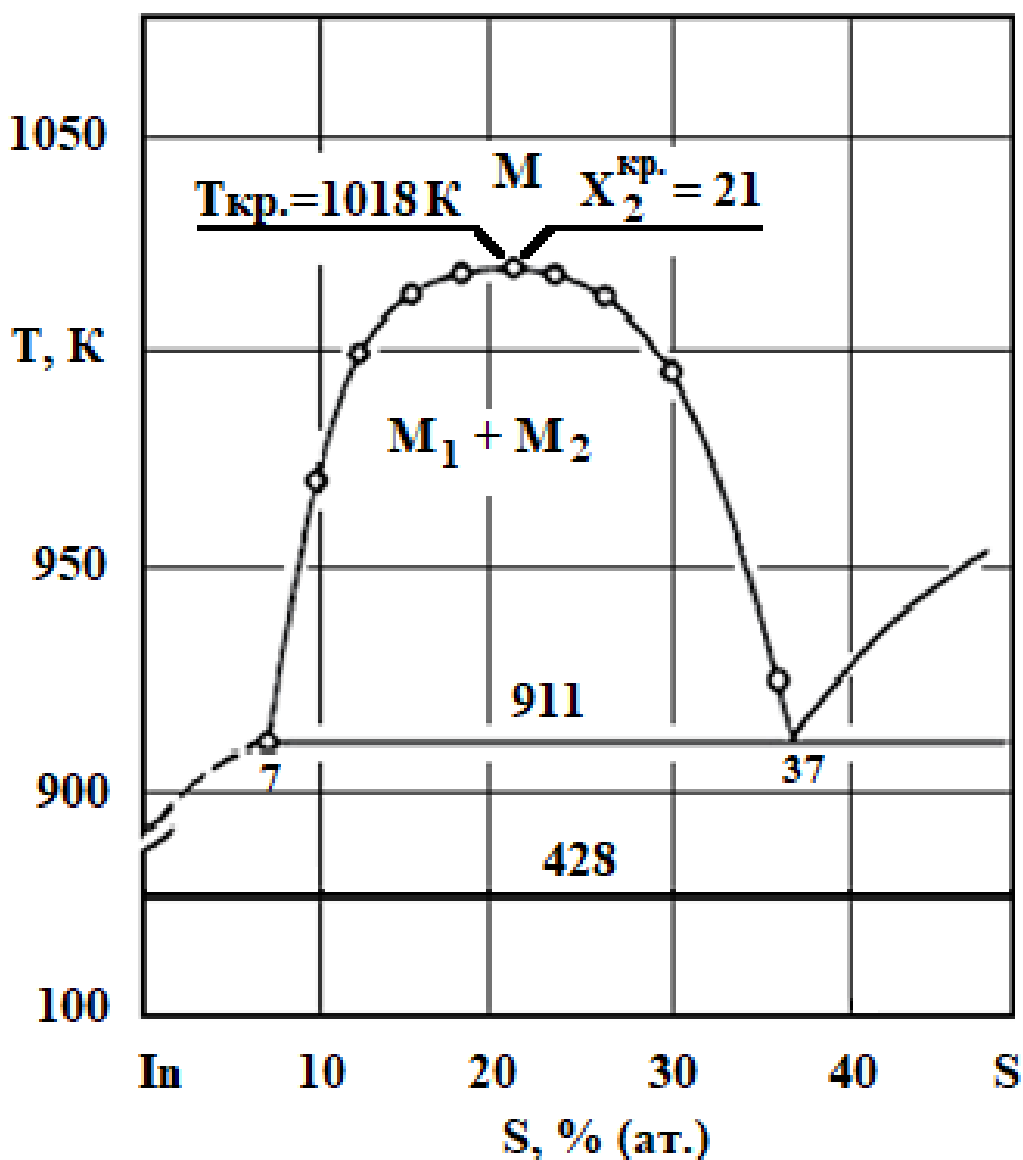
Аз расми 3.10 дида мешавад, ки хатти қачи моновариантии мувозинатии моеъ-моеъ дар системаи индий-селен симметрӣ аст. Дар ин система координатҳои нуқтаҳои критикӣ дар ҳарорати 910 К ва таркиби критикӣ 17% ат. Se муқаррар карда шуд.

Омӯзиши системаи In-S дар соҳаи ба қабатҳо ҷудошавии гудохтаҳо. Хӯлаҳои системаи In-S дар корҳои [15-17] дар доираи консентратсияи аз 0 то 70% S бо усулҳои таҳлили микроструктурӣ, рентгенӣ ва таҳлили дифференсиалӣ-термикӣ омӯхта шуданд. Хӯллаҳо барои таҳқиқот тавассути гарм кардани омехтаҳои компонентҳо дар ампулаҳои кварсӣ бо

усули анъанавӣ омода карда шуданд. Дар таҳқиқот тамғай тозагиаш 99,999% In ва кристалли S-и тоза 99,999% истифода шудааст.

Ба ҳамин монанд, тавре ки дар боло нишон дода шудааст, диаграммаҳои ҳолати системаи In-S сохта шудаанд.

Расми 3.11 ДХ-и системаи In-S-ро дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавии ғудохтаҳо нишон медиҳад. Мувофиқи маълумотҳои таҷрибавии ба даст овардашуда гунбази ҷудошавӣ дар ин система қариб симметри буда, дар уфуқи монотектикӣ бо таркибҳои 7 ва 37% ат. сулфур мувофиқат мекунад.



Расми 3.11. –Қисми диаграммаи мувозинати фазагии системаи индий-сулфур дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавии ғудохтаҳо

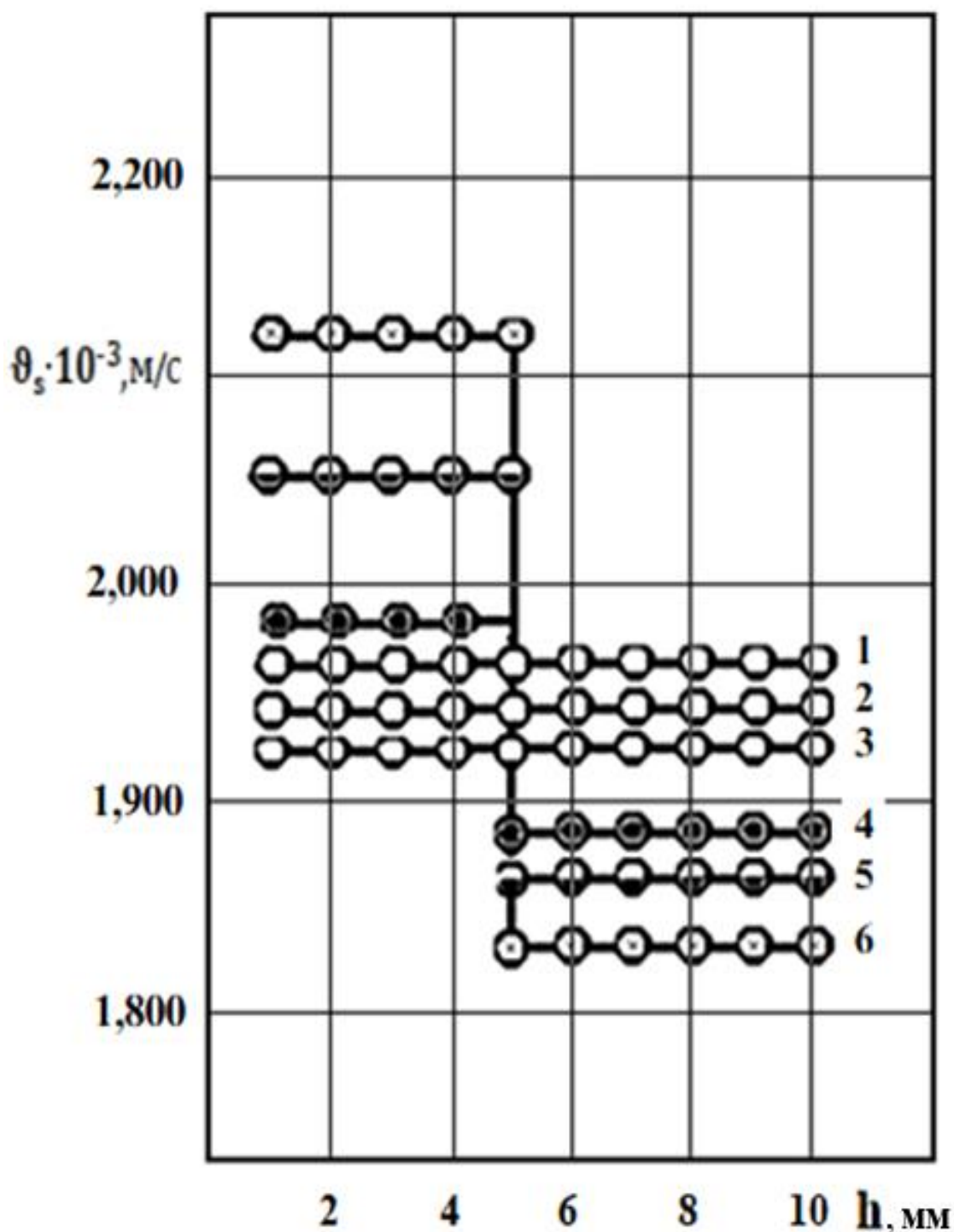
Дар системаи In-S координатаҳои нуқтаи критикӣ барои ҳарорати критикӣ 1018 K ва таркиби критикӣ 21% ат. S муқаррар карда шудааст.

Омӯзиши системаи In-Te дар соҳаи ба қабатҳо ҷудошавии ғудохтаҳо.

Халкоғенидҳои индий барои конверторҳои оптоэлектронӣ ва термоэлектрикӣ маводди зарурӣ мебошанд. Инчунин, онҳо барои пайвастагиҳои нимноқилҳои $A^{II}V^{III}$, $A^{III}V^{IV}$, $A^{IV}V^{VI}$ истифода мешаванд. Имкониятҳои махсуси татбиқи амалӣ бо сохтори қабатии пайвастагиҳои дучандаи $A^{III}V^{VI}$ алоқаманданд. Бо ба ҳам пайвастании ионҳои металлҳои ишқорӣ ва МИЗ дар онҳо синфҳои нави батареяҳо барои энергияи офтобӣ ва электрикӣ эҷод кардан мумкин аст [116-118].

Барои тайёр кардани хӯлаҳо ҳамчун ашёи ибтидоии индий (In - 000) ва теллур ТА-1-ро истифода намудем. Намунаҳо дар ампулаҳои кварсӣ ба 10^{-2} Па вакуум карда шуда, дар ҳарорати 120 К дар муддати 2 соат бо ларзиши шадид омехта карда шуда мӯҳр карда шудаанд. Пас аз ғудохтани намуна бо зудхунуккунӣ обутоб дода шуд. Барои ин ампулаи тафсонаи ғудохтаро дар оби хунук, ки тақрибан ҳарорати 700-900 К дошт, гузоштем. Ченкуниҳо дар атмосфераи аргони тозагиаш баланд дар диапазони басомади 1-3 МГц гузаронида шуданд. Дар расми 3.12 натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии суръати паҳншавии УС (ϑ_s) вобаста ба баландии (h) сутуни моеъи намунаи таркиби ибтидоии $In_{81.65}-Te_{18.35}$ дар ҳарорати гуногун оварда шудааст. Маълум аст, ки дар ҳарорати 825, 813 ва 806 К (сатрҳои 1-3 мутаносибан) ($\vartheta_s - h$) - характеристикаҳо хатҳои рости параллел ба меҳвари h мебошанд, яъне суръати паҳншавии УС аз баландӣ вобастагӣ надошта, якхела будани таркиби ғудохтаро нишон медиҳад [108]. Аммо дар ҳарорати 795 К дар $\vartheta_s - h$ - характеристика (мутаносибан, хатти 4) ҷаҳиши суръати паҳншавии УС мушоҳида мешавад. Зинаи якхела далели ҷудошавии ғудохтаро ба ду фазаҳои моеъ, ки бо суръати паҳншавии УС фарқ мекунад, нишон медиҳад ё муқаррар мекунад. Минбаъд дар ҳарорати 783 ва 760 К андозаи зина Δh пайдарпай зиёд мешавад (ниг. расми 3.12, хатҳои 5, 6), ки аз афзоиши консентратсия дар қабатҳо бо паст шудани ҳарорат далолат мекунад [69].

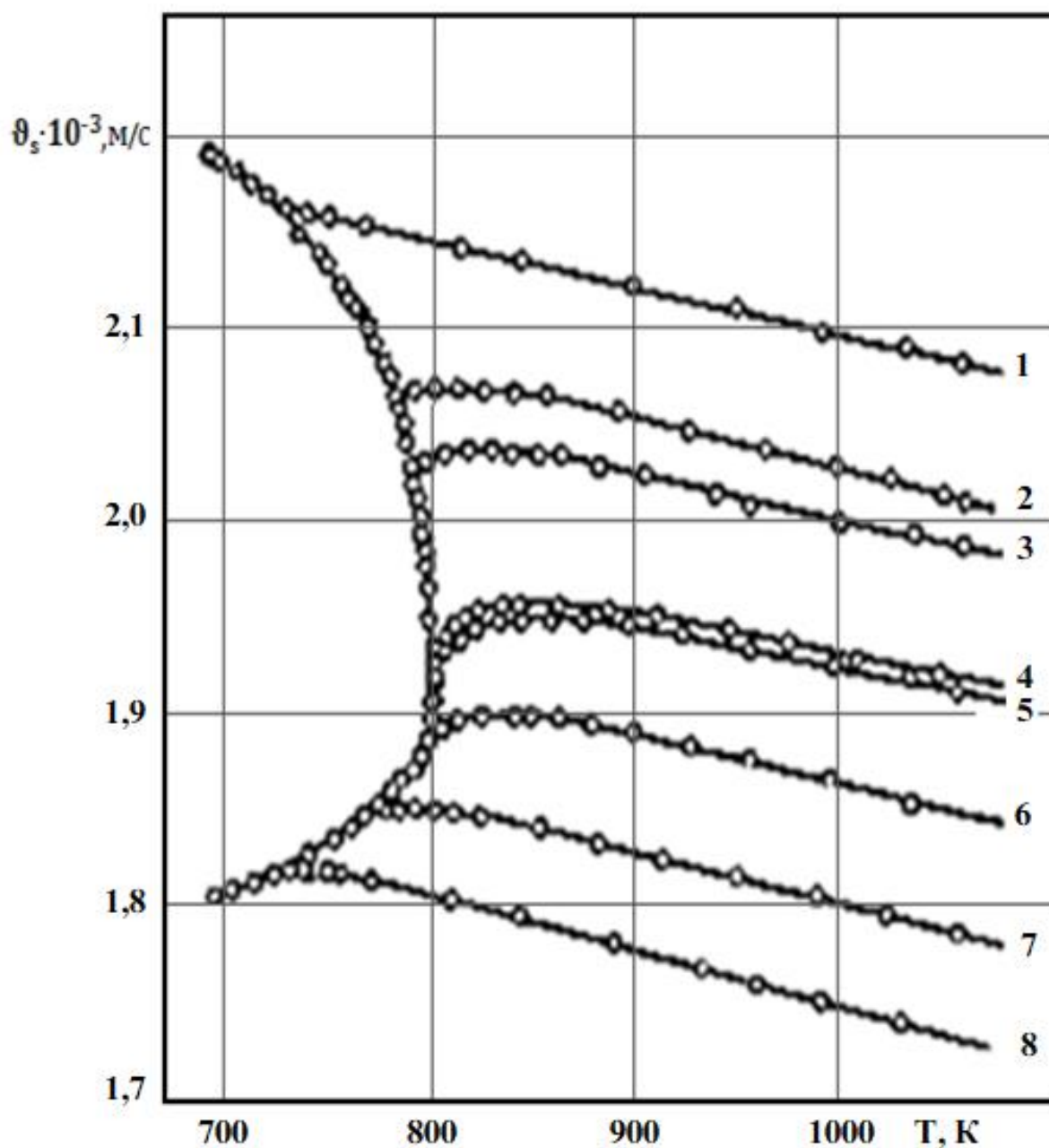
Бояд гуфт, ки зинаҳои ($\vartheta_s - h$) - характеристикаҳои 1-6 дар як баландӣ бо дақиқии зиёд сабт карда мешаванд.



Расми 3.12. –Тағйирёбии суръати паҳншавии ултрасадо вобаста ба баландии намунаи $\text{In}_{81.65} - \text{Te}_{18.35}$ (1-6) дар ҳароратҳои 825, 813, 806, 795, 783, 760 К

Далел он аст, ки сарҳади байни қабатҳо ҳангоми тағйирёбӣ танҳо аз нав тақсимшавии атомҳои компонентҳо (мутаносибан In ва Te) бидуни тағйир додани ҳаҷми фазаҳо шаҳодат медиҳад. Дар асоси ин пешниҳод кардан мумкин аст, ки тиркиби чунин омехта $\text{In}_{81.65} - \text{Te}_{18.35}$ таркиби критикӣ номида шавад.

Маълумоте, ки дар расми 3.12 оварда шудааст, имкон медиҳад, ки вобастагии суръати паҳншавии УС қад-қади хатти моновариантии мувозинатии моеъ-моеъ бунёд карда шавад. Барои ин зарур аст, ки арзишҳои ϑ_s мувофиқи шохаҳои болоӣ ва поёнии ($\vartheta_s - h$) хусусиятҳо (ниг. расми 3.12) вобаста ба ҳарорат пешниҳод карда шавад. Дар натиҷа хатти умумие ба даст меояд, ки ба вобастагии суръати паҳншавии УС қад-қади гунбази ба қабатҳо ҷудошавӣ мувофиқ аст (расми 3.13) [96].

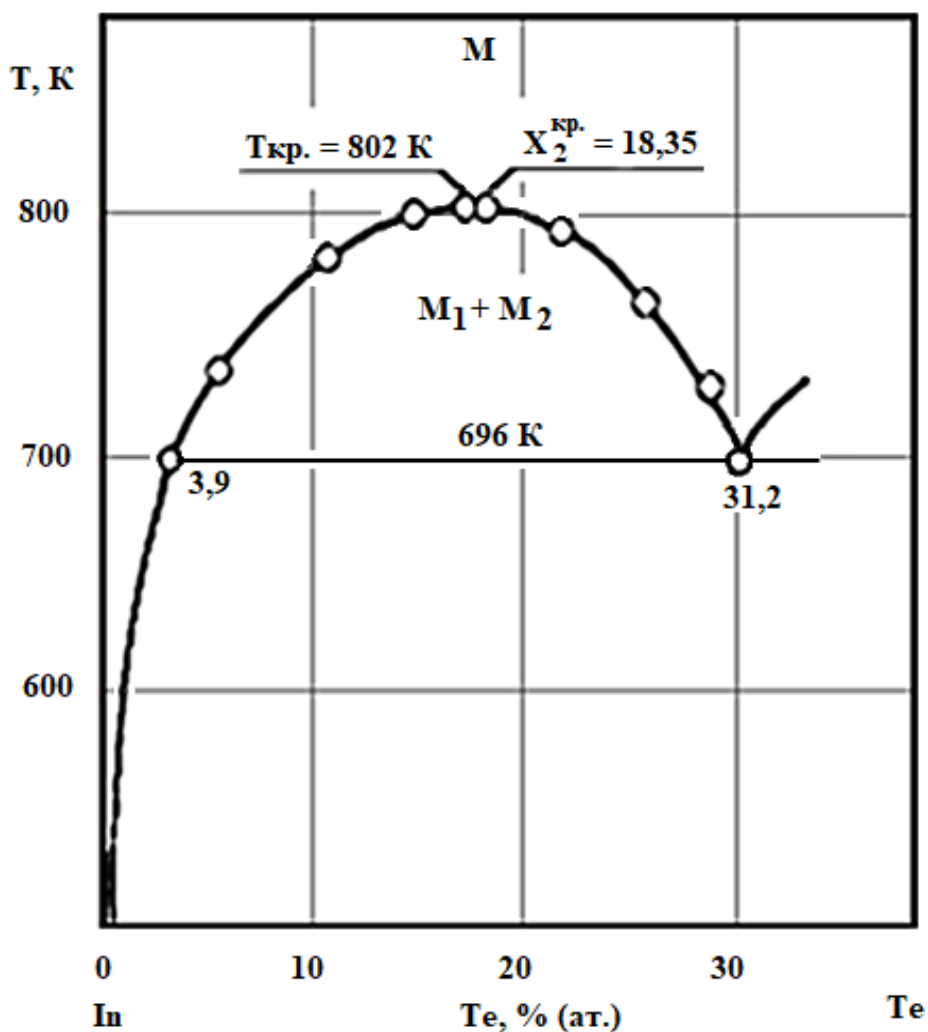


Расми 3.13. –Вобастагии концентратсионӣ ва суръати ултрасадо аз ҳарорат дар гудохтаҳои таркибашон гуногуни системаи дучандаи In-Te. Политермаҳои 1-8 (6, 11, 13, 18, 18.35, 22, 26, 29% ат. Те)

Дар системаи In-Te ин усулхоро барои омӯхтани вобастагии ҳарорат ($\vartheta_s - h$) - характеристика дар ғудохтаҳои дорои - 6, 11, 13, 18, 18.35, 22, 26, 29% ат. Те [98] мебошанд татбиқ намудем. Натиҷаҳои таҳқиқот дар расми 3.13 ҷамъбасти карда шудаанд, ки дар он политермаҳои 1-8 вобастагии ҳарорат аз суръати паҳншавии УС-и ҳӯлаҳои таҳқиқшавандаро берун аз минтақаи ба қабатҳо ҷудошаванда тавсиф мекунанд [98]. Дар системаи In-Te (ниг. расми 3.13) аномалияҳои политермаҳо пайдо шуданд, ки моҳияташ дар он аст, ки вобастагии $\vartheta_s \sim f(T)$ пеш аз хаттӣ шудан дорои максимумҳои моил мебошанд. Ин аномалияҳо дар доираи хеле васеи ҳарорат паҳн мешаванд ва бештар дар ҳӯлаи таркиби критикӣ зоҳир мешаванд (ба хатти 5 расми 3.13 нигаред, ки дорои 18.35% ат. Те мебошад).

Мувофиқи [69, 71], ғудохтаҳои системаи In-Te нимметаллӣ мебошанд, алоқаҳои байниатомӣ дар онҳо на танҳо аз рӯйи алоқаи металлӣ, балки аз рӯйи намуди алоқаи ковалентӣ низ амалӣ карда мешавад. Мавҷудияти алоқаи ковалентӣ дар ғудохтаҳо аз мавҷудияти атомҳои теллур вобаста аст, ки аз сабаби хусусияти маълуми сохтори қабатҳои электронии берунӣ ба пайдоиши ин бандҳо майл доранд. Мо пешниҳод менамоем, ки аномалияҳои мушоҳидашуда дар суръати паҳншавии УС дар ғудохтаи ин система маҳз ба имкони мавҷудияти ду намуди пайвастиҳои байниатомӣ вобастаанд, ки дар баробари тағйирёбии консентратсия бояд ба ташаккули тағйирёбии назарраси зичӣ мусоидат кунанд. Хусусияти тағйироти охирин ҳангоми гармкунии маҳлулҳо, дар асл, бояд сабаби маъноии физикии пайдоиши аномалияҳо дар вобастагии ҳарорат аз суръати паҳншавии УС бошад [91].

Натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронидашуда дар расми 3.13 маълумоти мукаммали таҷрибавиро пешниҳод мекунад, ки дар асоси он хатти моновариантии мувозинатиро сохтан мумкин аст, ки минтақаи ба қабатҳо ҷудошавии $M_1 + M_2$ -ро дар диаграммаи мувозинати фазагии системаи In-Te маҳдуд мекунад. Дар расми 3.14 натиҷаҳои чунин сохтор нишон дода шудааст.



Расми 3.14. –Қисми диаграммаи мувозинати фазагии системаи индий-теллур бо мавқеи хатти моеъи моновариантии мувозинати моеъу-моеъ бо уфуқи монотектикӣ

Бояд қайд кард, ки бо истифода аз усули УС минтақаи ба қабатҳо чудошавӣ дар системаи индий теллур таҳқиқ карда шуд ва хатти қачи мувозинати моноварианти сохта шуд, ки минтақаи зикршударо маҳдуд мекунад. Координатаҳои нуқтаҳои критикӣ дар ҳарорати $(802 \pm 2) \text{ K}$ ва таркиби критикӣ $18,35\%$ ат. Те муқаррар карда шудаанд ва боқимонда индий мебошад. Гунбази чудошавӣ, чунон ки аз расм дида мешавад, қариб симметрӣ аст.

Ҳисоби фаъолияти термодинамикӣ ва энергияи озоди Гиббси компонентҳо дар ҳӯлаҳои дучандаи индий бо халкогенҳо (сулфур, селен ва теллур) дар ҳолати моеъ дар боби дуум нишон дода шудааст [119-120].

Хулосаи боби сеюм

- Усулҳои таҷрибавии чен кардани суръати паҳншавии ултрасадо дар гудохтаҳои металлҳо, нимметаллҳо ва нимноқилҳо таҳлилу баррасӣ карда шуд;
- Масъалаҳои методологии ченкунии ҳароратҳои баланд ва суръати ултрасадо дар гудохтаҳо баррасӣ шуд;
- Таҳлили усулҳои гуногунӣ чен кардани суръати паҳншавии ултрасадо нишон дод, ки усули импульсӣ-фазаӣ дар заминаи тағйирёбандаи акустикӣ бо ду элементҳои пезоэлектрикӣ беҳтар аст;
- Дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушкилгудоз, инчунин, индий бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ченкунии хосиятҳои ултраакустикаи гудохта, ки бо шаҳодатномаи ҳуқуқи муаллиф ҳимоя шудааст, таҳия гардидааст;
- Суръати паҳншавии ултрасадо дар гудохтаҳои In, S, Se ва Te чен карда шудааст. Нишон дода шудааст, ки хусусияти асосии усул ҳассосияти мутлақ аст, ки ба $-1,5$ м/с баробар аст;
- Вобастагии ҳарорат ва концентратсияи суръати паҳншавии ултрасадо дар гудохтаҳои системаҳои In-S, In-Se ва In-Te омӯхта шудааст;
- Дар системаҳои In-S ва In-Se дар паси гумбази ба қабатҳо чудошаванда ягон ҳодисаи аномалӣ пайдо нашуд. Ин омил аз он шаҳодат медиҳад, ки дар ин системаҳо инкишофи намоёни концентратсия ва тағйирёбии зичӣ вучуд надорад;
- Аномалияҳои суръати паҳншавии ултрасадо дар диапазонҳои васеи ҳарорат барои системаи In-Te ошкор карда мешаванд, ки бо наздик шудан ба нуқтаи критикӣ тадричан зиёд мешаванд;
- Параметрҳои критикӣ (ҳарорати критикӣ ва таркиби критикӣ) барои системаҳои In-S, In-Se ва In-Te муайян карда шудааст.

ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Бо истифода аз меъёрҳои термодинамикӣ ва омори навъҳои таъсири мутақобила дар системаҳои бинарии индӣ, ки қаблан омӯхта нашудаанд (кам омӯхташудаанд) муқаррар карда шуд. Бори аввал диаграммаҳои ҳолати мукамал барои шаш системаи бинарии индӣ бо металлҳои гузарандаи Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta сохта шудаанд [18-M], [24-M].

2. Натиҷаҳои ноилгардидаи индӣ ва хӯлаҳои он нишондиҳандаҳои муҳими хосиятҳои физикӣ, механикӣ, химиявӣ, технологӣ мебошанд, ки барои коркарди технологияи легиронидан, тозакунии ва тағйирдиҳӣ заруранд, ДХ сохта шудаанд. Маълумоти гирифта шуда, оид ба системаҳои ба қабатҳо ҷудошавандаи дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se ва Te манбаи арзишманд барои коркарди технологияи ҳосил намудани материалҳои дорои хосиятҳои баланди зиддифриксионӣ барои дастгоҳҳои энергетикаӣ атомӣ ва техникаи атомӣ мебошад [10-M], [12-M], [17-M], [23-M].

3. Дастигоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушқилғудоз, инчунин, индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ченкунии хосиятҳои ултраакустикии гудохта, ки бо шаҳодатномаи ҳуқуқи муаллиф ҳимоя шудааст, таҳия карда шуд [10-M], [15-M].

4. Усулҳои ҳисобкунӣ ва эксперименталӣ барои 3 системаи бинарии индӣ бо халкогенҳои ҚД (S, Se, Te) мавҷудияти минтақаҳои ба қабатҳо ҷудошавӣ, координатаҳои табдилёбии нонварианти ва нуқтаҳои канорӣ дар ДХ-и онҳо бори аввал муайян карда шуд. Аз диаграммаҳои ҳолатии сохташудаи дучандаи индӣ бо истифода аз назарияи маҳлулҳои регуляри дар ҳароратҳои мувозинати монотектикӣ энергияи Гиббс, фаъолнокӣ ва константаҳои таъсири байнизарравӣ хӯлаҳои системаҳои болозикр муқаррар карда шуд [2-M], [3-M], [4-M], [5-M], [6-M], [7-M], [12-M], [13-M], [14-M], [16-M], [19-M], [20-M], [21-M], [25-M].

5. Дар асоси ДХ дучандаи сохташудаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta параметрҳои технологияи раванди тозакунии ликватсионии индӣ аз ғашҳои мушқилғудоз пешниҳод карда шуд. Муқаррар гардид, ки ҳангоми зина ба зина хунуккунӣ аз 673 то 473 К тозагии индӣ афзуда, схемаи

технологии коркарди гирифтани индийи дараҷаи тозагиаш гуногун пешниҳод гардида, ҷиҳати ҳосилкунии индийи тозагиаш махсус барои татбиқ дар истеҳсолот тавсия мешавад, самаранокии пешакии солонаи иқтисодии индий барои як тонна 1833900 сомонӣ (як миллиону ҳаштсаду сию се ҳазору нуҳсад сомонӣ) бо нархҳои соли 2024 ҳисоб карда шудааст [9-М], [26-М].

ТАВСИЯҲО ОИД БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲОИ ТАҲҚИҚОТ

Комплекси таҳқиқотҳои ҳисоббарорӣ ва таҷрибавии гузаронидашуда имконият дод, ки координатаҳои ҳароратҳои критикии таҷзияи гудохтаи гомогенӣ ба ду фазаи гомергенӣ муқаррар карда шавад. Ин маълумотро ҳангоми коркарди технологияи ба даст овардани материалҳои дорои хосиятҳои зиддифриксионии баланд, ки дар техникаи ядрои заруранд, истифода бурдан мумкин аст.

Маълумотҳои ба дастовардашуда ҳамчун замина барои бонки маълумотҳои акустикӣ, термодинамикӣ, термофизикӣ ва эластикӣ, ки дар самтҳои гуногуни илму техника муҳим арзёбӣ мегарданд, инчунин, ҳодисаҳои критикии системаҳои дучандаи металлӣ, ки дар диссертатсия оварда шудааст, ба омӯзиши ҳодисаҳои критикӣ истифода карда шаванд.

РҰЙХАТИ АДАБИЁТ

1. Яценко, С.П. Индий. Свойства и применение / С.П. Яценко. – М.: Наука, 1987. – 250 с.
2. Рипан, Р. Неорганическая химия / Р. Рипан, И. Четяну. – М.: Мир, 1971. – Т. 1. – 560 с.
3. Румянцев, Ю.В. Хворостухина Н.А. Физико-химические основы пирометаллургии индия / Ю.В. Румянцев, Н.А. Хворостухина. – М.: Наука, 1965. – 132 с.
4. Коленкова, М.А. Metallургия рассеянных и легких редких металлов / М.А. Коленкова, О.Е. Крейн. – М.: Metallургия, 1977. – 360 с.
5. Montague, H.L. The extractive metallurgy of zinc: Review of processes and projections for the future. TMS Paper Selection / H.L. Montague. – N.Y.: Met. Soc. AIME, 1971. – 140 p.
6. Зеликман, А.Н. Metallургия редких металлов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов. – М.: Metallургия, 1991. – 431 с.
7. Зеликман, А.Н. Теория гидрометаллургических процессов / А.Н. Зеликман, Г.М. Вольдман, Л.В. Беляевская. – М.: Metallургия, 1983. – 424 с.
8. Корнилов, И.И. Metalлохимические свойства элементов Периодической системы / И.И. Корнилов, Н.М. Матвеев, Л.И. Пряхина, Р.С. Полякова. – М.: Наука, 1966. – 351 с.
9. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.
10. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – Т. 2. – 1024 с.
11. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2000. – Т. 3, кн. 1. – 872с.
12. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. ак. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 3, кн.2. – 448с.

13. Хансен, А.К. Структуры двойных сплавов / А.К. Хансен, К. Андерко. – М.: Металлургия, 1962. – Т. 1-2. – 1488 с.
14. Эллиот, Р.П. Структуры двойных сплавов / Р.П. Эллиот. – М.: Металлургия, 1970. – Т. 1-2. – 917 с.
15. Шанк, Ф.А. Структура двойных сплавов / Ф.А. Шанк. – М.: Металлургия, 1979. – 706 с.
16. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М. –Л.: Наука, 1959. – Т. 1. – 755 с.
17. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М. –Л.: Наука, 1962. – Т. 2. – 982 с.
18. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М. –Л.: Наука, 1976. – Т. 3. – 814 с.
19. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган. – М. –Л.: Наука, 1979. – Т. 4. – 576 с.
20. Курнаков, Н.С. Введение в физико-химический анализ: Учебное пособие для хим. фак. гос. ун-тов / ак. Н.С. Курнаков; Под ред. В.Я. Аносова и М.А. Ключко; при участии Н.В. Агеева [и др.]. – М. -Л.: АН СССР, 1970. – 562 с.
21. Юм-Розери, У. Факторы, влияющие на стабильность металлических фаз. В сб.: Устойчивость фаз в металлах и сплавах / У. Юм-Розери. –М.: Мир. 1970. – 408 с.
22. Даркен, Л.С. Физическая химия металлов / Л.С. Даркен, Р.В. Гурри. – М.: Металлургиздат, 1960. – 256 с.
23. Воздвиженский, В.М. Прогноз двойных диаграмм состояния / В.М. Воздвиженский. –М.: Металлургия, 1975. – 224 с.
24. Mott, V. The theory of the properties of Metals and Alloys / V. Mott, N. Jones. –Lnd, 1936. – 362 p.
25. Mott, V.W. Liquid immiscibility in metals systems / V.W. Mott // Philos, Magasin, 1975. – V. 8. – №2. – P. 259-283.
26. Полинг, Л.К. Природа химической связи / Л.К. Полинг. – М. – Л.: Госхимиздат, 1947. – 160 с.

27. Miedema, A.R. The electronegativity parameter for transition Metals heat of formation and charge transfer in alloys / A.R. Miedema, J. less // *Common metals*, –1973. –V. 32. – №1. – P. 117-138.
28. Kubaschevesky, O. The physical chemistry of metallic solutions and intermetallic compounds / O. Kubaschevesky. –L.: Asad. Press, 1959. –306 p.
29. Watson, R.E. Volume effect in transition-metal alloying / R.E. Watson, L.H. Bennett // *Acta Metall*, –1982. – V. 30. – №10. –P. 1941-1955.
30. Кауфман, Л. Расчёт диаграмм состояния с помощью ЭВМ / Л. Кауфман, Х. Бернштейн. – М.: Мир, 1972. – 326 с.
31. Диаграммы фаз в сплавах / Под ред. Л. Беннета, Т. Массалского и Б. Гиссена. – М.: Мир, 1986. –273 с.
32. Теслюк, М.Ю. Металлические соединения со структурами фаз Лавеса / М.Ю. Теслюк. – М.: Наука, 1969. – 136 с.
33. Hildebrand, I.H. The solubility of nonelectrolytes / I.H. Hildebrand, R.I. Scott. –N. –Y.: Reinhold publ, 1950. – 488 p.
34. Machlin, E.S. Correction terms to pair potential model values of the energy of formation for transition elements polyvalent element phases / E.S. Machlin // *CalPHad*, – 1982. –V. 5. – №1. – P. 1-17.
35. Hillert, M. Empirical-method of predicting and representing thermodynamic properties of ternary solution phases / M. Hillert // *CalPHad*, – 1980. –V. 4. – №1. – P. 1-12.
36. Делингер, У. Теоретическое металловедение / У. Делингер. –М.: Металлургия, 1960. – 286 с.
37. Захаров, А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем / А.М. Захаров. – М.: Металлургия, 1978. – 292 с.
38. Пинес, Б.Я. К расчёту простейших диаграмм равновесия бинарных сплавов / Б.Я. Пинес // *ЖЭТФ*, – 1943. – №11. – С. 411-417.
39. Данилов, В.И. О влиянии межмолекулярного взаимодействия на равновесие фаз в бинарных системах / В.И. Данилов, Д.С. Каменецкая // *Журн. физ. Химии*, – 1948. – №1. – С. 81-89.

40. Аптекарь, И.Л. Анализ возможных типов диаграмм состояния двухкомпонентных систем / И.Л. Аптекарь, Л.Г. Исаева // Журн. физ. химии. – 1977. – №9. – С. 2353-2355.
41. Курнаков, Н.С. Избранные труды / Под ред. О.Е. Звягинцевой. –М.: Изд. АН СССР, 1960, 1961, 1963. – Т. I-III. – 595, – 611, – 567 с.
42. Воздвиженский, В.М. Статистический метод прогноза взаимодействия компонентов (прогноз по критериям). В сб.: Общие закономерности в строении диаграмм состояния металлических систем / В.М. Воздвиженский. –М.: Наука, 1973. – С. 103-108.
43. Джураев, Т.Д. Степень ближнего порядка-критерий для определения разновидностей расслаивающихся систем / Т.Д. Джураев, А.В. Вахобов // Доклады АН Тадж. ССР, – 1986. –Т. 29. – №1. – С. 32-35.
44. Джураев, Т.Д. Степень ближнего порядка и разновидности диаграмм состояния расслаивающихся систем / Т.Д. Джураев // Материалы V Всес. науч. совещания. – М.: – 1989. – 9 с.
45. Пирсон, У. Кристаллохимия и физика металлов и сплавов. Пер. с англ. С.Н. Горина. / У. Пирсон. –М.: Мир, 1977. -Ч. 1 и 2. – 424 и – 472 сс.
46. Гладышев, В.П. / Физика металлов и металловедение, 1963. –Т. 15. – №2. – 203 с.
47. Физико-химические свойства элементов / Под ред. Г.В. Самсонова. – Киев: Наукова Думка, 1965. – 807 с.
48. Джураев, Т.Д. Расчётные и экспериментальные исследования физико-химического взаимодействия щелочноземельных металлов с элементами периодической системы / Т.Д. Джураев // Дисс. ... канд. хим. Наук: Институт химии АН Таджикской ССР. – Душанбе, 1972. – 228 с.
49. Савицкий, Е.М. Прогнозирование неорганических соединений с помощью ЭВМ / Е.М. Савицкий, В.Б. Грибуля. –М.: Наука, 1977. –194с.
50. Мельвин-Хьюз, Э.А. Физическая химия. / Э.А. Мельвин-Хьюз. –М.: ИЛ, 1962. –Т. 2. – 1148 с.

51. Джураев, Т.Д. Разработка композиций и сплавов кальция, стронция и бария / Т.Д. Джураев // Дисс. ... д-ра хим. наук. –М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1991. – 327 с.
52. Казанбаев, Л.А., Козлов, П.А., Кубасов, В.Л., Колесников, А.В., Загребин, С.А. Способ получения индиего порошка высокой чистоты. Изобретения к патент. 10.12.2003, №RU 2218244.
53. Truning, E.V., Trunina O.E. Preparation of high-purity indium and gallium via elektrotransfer in a magnetic field. Inorganic materials. 2003. – V: 39. – №8. – P. 798-801.
54. Гасанов, А.А., Кознов Г.Г., Почтарёв А.Н., Аникин О.В. Способ получения индия высокой чистоты. Изобретения к патент. 20.02.2014, №RU 2507283.
55. Джураев, Т.Д., Нуров К.Б., **Джаъфари А.С.** Разработка технологической схемы ликвационного рафинирования индия от некоторых тугоплавких примесей / Т. Д. Джураев, К. Б. Нуров, А. С. **Джаъфари** // Вестник Таджикского технологического университета. Технология и химия. -2024. –№1(56). -С. 41-47.
56. Красин, В. П. Влияние размерного фактора на положение фазовых границ в системах из несмешивающихся компонентов / В. П. Красин, С. И. Союстова, А. А. Вернер // Машиностроение и инженерное образование, -2012. –№2. -С. 29-32.
57. **Джаъфари, А. С.**, Джураев Т. Д. Раванди тозакунии ликватсионии индий аз ғашҳои мушкилгудоз / **А.С. Джаъфари**, Т.Д. Джураев // Маводди конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Нақши саноатикунонӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040), (23 майи соли 2024). ДДОТ ба номи С. Айни. – Душанбе, 2024. – С. 109-114.
58. Джураев, Т.Д., Газизов Э.Р., Исмоилов Р.А., Амиров О.Х., Рахимов Ф.К., Хакдодов М.М. Устройство для многоструйной заливки

расплава алюминия и легированного алюминия. Изобретения к патент. 20.02.2014, №ТJ 75 (7.03.2007).

59. Бурылев, Б.П. Термодинамика металлических растворов внедрения / Б.П. Бурылев. – Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1984. – 160 с.
60. Джураев, Т.Д. Термодинамические свойства сплавов серебра с халькогенами (S, Se и Te) / Т.Д. Джураев, Р.А. Нимонов, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности». – Душанбе: ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – С. 112-118.
61. Регель, А.Р. Закономерности формирования структуры электронных расплавов / А.Р. Регель, В.М. Глазов // – М.: Наука, 1982. – 320 с.
62. Kleppa, O.J. Ultrasonic velocities of sound in some metallic Liquids. Adiabatic and isothermal compressibilities of Liquids metals at their melting points / O.J. Kleppa // J. Chem. Phys. – 1950. – V. 18. – №10. – P. 1331-1336.
63. Gordon, R.V. Propagation of sound in Liquids metals: the velocity in lead and tin. / R.V. Gordon // Acta Metallurgica, – 1959. – V. 7. – №1. – P. 1-7.
64. Гитис, М.Б., Михайлов И.Г. Скорость звука и сжимаемость некоторых жидких металлов / М.Б. Гитис, И.Г. Михайлов // Акустический журнал, – 1965. – Т. 11. – №4. – С. 434-437.
65. Гитис, М.Б., Михайлов И.Г. О связи скорости звука и электропроводности в жидких металлах / М.Б. Гитис, И.Г. Михайлов // Акустический журнал, – 1966. – Т. 12. – №1. – С. 17-21.
66. Полоцкий, И.Г., Ходов З.Л. Ультразвуковой интерферометр для измерений при повышенных температурах / И.Г. Полоцкий, З.Л. Ходов // Вопросы физики металлов, – 1955. – №6. – С. 70-76.
67. Глазов, В.М. Методика исследования скорости ультразвука в расплавах металлов и полупроводников / В.М. Глазов, А.А.

- Айвазов, В.И. Тимошенко // Заводская лаборатория, – 1975. –Т. 41. – №2. – С. 197-200.
68. Глазов, В.М. Аппаратура и методика для исследования акустических свойств электронных расплавов / В.М. Глазов, В.И. Тимошенко, С.Г. Ким // Заводская лаборатория, – 1985. –Т. 51. – №3. – С. 22-26.
69. Мирзозода, А.Н. Исследование микронеоднородности двойных-металлических и полупроводниковых расплавов с расслоением в жидком состоянии / А.Н. Мирзозода // дис. ... канд. хим. наук: – Душанбе, ТНУ. 2021. – 121 с.
70. А. с. Устройство для нагрева исследуемого образца из металла или полупроводника. / **Джафаров А.С.**, Нуров К.Б., Джураев Т.Дж., Тошов М.А., Мирзозода А.Н., Мухаббатов Х.К. РТ. №ТJ 1321 от 23.05.2022 г.
71. Ким, С.Г. Разработка методики и изучение ультразвуковых свойств расплавов полуметаллов и полупроводников / С.Г. Ким // дис. ... канд. физ.-мат. наук. –М.: МИЭТ, 1985. – 242 с.
72. Глазов, В.М., Ким С.Г. Осцилляции скорости ультразвука при нагреве в жидком галлии / В.М. Глазов, С.Г. Ким // Письмо в ЖЭТФ, – 1983. –Т. 37. –№5. – С. 208-209.
73. А. с. Ультразвуковой преобразователь для контроля расплавов металлов и полупроводников / В.М. Глазов, В.И. Тимошенко, С.Г. Ким СССР, №1146591. Б.И. – 1985. –№11.
74. Нуров, К.Б. Исследование скорости распространения ультразвука расплавах системы Ge-Pb / К.Б. Нуров // Вестник Таджикского технического университета, 2015. – №2 (30). – С. 22-25.
75. Нуров, К.Б. Исследование скорости распространения ультразвука в расплавах S, Se и Te / К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, Т. Рустам. // Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль и использование достижений естественных, точных и математических наук в производстве»,

- посвященной дню науки (14 апреля 2023 г.). – Душанбе: ТТК при ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2023. – С. 141-146.
76. Регель, А.Р., Глазов В.М. Физические свойства электронных расплавов / А.Р. Регель, В.М. Глазов // М.: –Наука, – 1980. – 296 с.
 77. Глазов, В.М., Щеликов О.Д. Изменение структуры ближнего порядка в расплавах Se и Te при их нагревании / В.М. Глазов, О.Д. Щеликов // Изв. АН СССР, Неорганические материалы, – 1974. –Т. 10. – №2. – С. 202-207.
 78. Гитис, М.Б., Михайлов И.Г. Скорость звука и сжимаемость некоторых жидких металлов / М.Б. Гитис, И.Г. Михайлов // Акустический журнал, – 1965. – Т. 11. – №4. – С. 434-437.
 79. Гитис, М.Б., Михайлов И.Г. Скорость звука и сжимаемость в расплавленных сере и селене / М.Б. Гитис, И.Г. Михайлов // Акустический журнал, – 1966. – Т. 12. –№2. – С. 294-296.
 80. Михайлов И.Г. Основы молекулярной акустики / И.Г. Михайлов, В.А. Соловьев, Ю.П. Сырников // М.: – Наука, – 1964. – 514 с.
 81. Ноздрев, В.Ф., Федорищенко Н.В. Молекулярная акустика / В.Ф. Ноздрев, Н.В. Федорищенко // М.: Высшая школа, 1974. – 288 с.
 82. Кудрявцев, Б.Б. Применение ультразвуковых методов в практике физико-химических исследований / Б.Б. Кудрявцев // Л.: – 1952. – 323 с.
 83. Гитис, М.Б. Скорость звука и сжимаемость жидких металлов / М.Б. Гитис // дис. ... канд. физ.-мат. наук. Л.: – ЛГУ, 1966. – 169 с.
 84. Блум, Б.И., Регель А.Р. Исследование электропроводности и вязкости в расплавах Se-Te / Б.И. Блум, А.Р. Регель // Журнал технической физики, – 1953. – Т. 23. –№6. – С. 963-974.
 85. Мокровский, Н.Г., Регель А.Р. Некоторые особенности температурной зависимости плотности и электропроводности жидких расплавов Te-Se / Журнал технической физики, – 1955. – Т. 25. – №12. – С. 2093-2095.

86. Швидковский, Е.Г. Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов / Е.Г. Швидковский // – М.: ГИТТЛ, 1955. – 385 с.
87. Нуров, К.Б. Основные особенности методики исследования расслаивающихся расплавов металлов и полупроводников акустическим методом / К.Б. Нуров // Вестник Таджикского национального университета. Серия «Естественных наук», 2015. – №1/4 (168). – С. 127-130.
88. Нуров, К.Б., Ходжаев Ф.К. Исследование области расслаивания расплавов в системе Cu-Pb импульсно-фазовым методом / К.Б. Нуров, Ф.К. Ходжаев // Вестник Южно – Уральского государственного университета. серия «Металлургия», Россия, 2019. – Т. 19. – №4. – С. 4-9.
89. Джураев, Т.Дж. Закономерности изменения энергии взаимообмена индия с элементами периодической таблицы (ПТ) от их порядкового номера / Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М. Тошев // Чебышевский сборник, 2023. Т. 24, – №5. – С. 266-273.
90. Глазов, В.М. Акустические исследования и закритических явлений в электронных расплавах / В.М. Глазов, С.Г. Ким // ДАН СССР, 1986. – Т. 290. – №5. – С. 873-876.
91. Регель, А.Р. Акустические исследования структурных изменений при нагреве расплавов полупроводников и полуметаллов / А.Р. Регель, В.М. Глазов, С.Г. Ким // ФТП, – 1986. – Т.20. – №8.– С. 1353-1376.
92. Джафаров, А.С. Блок-схема измерения и тепловая часть установки для исследования ультразвуковых свойств расплавов металлов и полупроводников / А.С. Джафаров, Рустами Т., К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Таджикистан и 25-летию РТСУ, 2021. – С. 40-44.
93. Джафаров, А. С. Особенности характера температурной зависимости скорости распространения ультразвука расплавов

- металлов и полупроводников за куполом расслаивания / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, А.Н. Мирзозода, Т.Дж. Джураев // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз», ТАУ им. Ш.Шохтемур, 2021. – №2 (91). – С. 108-110.
94. **Джафаров, А.С.**, Нуров К.Б. Исследование двойных систем с особыми температурными точками / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров // Доклады НАН РТ., физическая химия, 2021, – Т. 64. – №7-8. – С. 442-448.
95. **Джафаров, А.С.**, Нуров К. Б. Исследование диаграммы с ограниченной растворимостью в жидком состоянии / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум», РФ. г. Улан-Удэ, 2022. – 69 с.
96. Нуров, К.Б. Определение линии моновариантного равновесия в расплавах систем индий-халькогены (сера, селен и теллур) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Т.Дж. Джураев // Журнал «Политехнический Вестник», серия Инженерные исследования: ГТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – №4 (56). – С. 35-40.
97. Nurov, K.B., Dzhuraev T.D., **Jafarov A.S.** Investigation of the region of examination of melts in systems In-B^{VI} (B^{VI} -S, Se, Te) by the acoustic method / K.B. Nurov, T.D. Dzhuraev **A.S. Jafarov** // Austrian Journal of technical and natural sciences», Vienna, 2022. – №3-4. – P. 44-51.
98. **Джафаров, А.С.** Фазовые равновесия в системе In-Te / **А.С. Джафаров** // Доклады НАН РТ, физическая химия, 2022. Т. 65. – №3-4. – С. 233-239.
99. Джураев, Т.Дж. Термодинамические активности и свободная энергия Гиббса компонентов в сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // Журнала «Политехнический Вестник», серия Инженерные исследования: ГТУ им. ак. М.С. Осими, 2022. – №2 (58). – С 90-94.
100. Нуров, К.Б., **Джафаров А.С.** Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах

- полупроводниковых соединений Sb_2Se_3 и Bi_2Se_3 / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров // Международный научно-практический журнал Endless light in science. Алматы, Казахстан, 2022. – С. 133-137.
101. Нуров, К.Б., Джафаров А.С. Исследование двухкомпонентные монотектические системы ультразвуковым методом / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров // Международный научный журнал «Национальная Ассоциация Ученых», г. Екатеринбург, 2022. Т. 2. –№82. – С. 60-66.
102. Джураев, Т.Дж., Джафаров А.С., Нуров К.Б., Тошев М.Т. Расчет энергии межчастичного взаимодействия и координат критического расслоения в системах индий-халькогены (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 239-242.
103. Нуров, К.Б. Исследование области ограниченной растворимости в жидком состоянии в бинарных системах индия с селеном и теллуром / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Т.Дж. Джураев, М.Т. Тошев, Х.К. Мухаббатов // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» (9-10 декабря 2021 г.). – Душанбе: ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – С. 85-90.
104. Джураев, Т.Дж. Прогноз образования интерметаллических соединений в бинарных системах индия с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ) / Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, Р.А. Наимов, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции

- «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). –Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 85-88.
- 105.** Нуров, К.Б. **Джафаров А.С.** Особенности поведения скорости ультразвука в области расслаивания расплавов и закритических явлений / К.Б. Нуров. **А.С. Джафаров** // Материалы Республиканской конференции на тему: «Роль современных методов анализа в развитие науки и производства», посвященной 20-летию развития естественно-научных, точных и математических дисциплин в области науки и образования (2020-2040 годы) (5 октября 2022 г.). –Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 85-92.
- 106.** Нуров, К.Б., **Джафаров А.С.** Акустические исследования фазовых переходов и критических явлений в металлических и полупроводниковых жидкостях / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканской научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук» (28-29 октября 2022 г.). –Душанбе: филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, 2022. – С. 136-143.
- 107.** Нуров, К.Б. и др. Скорость распространения ультразвука как структурно-чувствительный характеристик для изучения молекулярно-кинетические свойства расплавов металлов и полупроводников / К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев, А.Н. Мирзозода, **А.С. Джафаров**, Рустами Т. // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2023. – №1. – С. 160-169.
- 108.** Нуров, К.Б. Поведение акустических параметров вблизи критических точек системы жидкость-жидкость / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Рустами Т., Т.Дж. Джураев // Вестник Бохтарского

государственного университета имени Носира Хусрава, 2022. – №2/2 (99). – С. 71-77.

109. Славнова, Г.К., Елисеев А.А. Рентгенографическое исследование сплавов индий-селен / Г.К. Славнова, А.А. Елисеев // Журнал неорганической химии, 1963. – Т. 8. – №7. – С. 1654-1660.
110. Славнова, Г.К., Лужная Н.П., Медведева З.С. Новые данные по диаграмме состояния системы индий-селен / Н.П. Лужная, З.С. Медведева // Журнал неорганическая химия, 1963. – Т. 8. – №5. – С. 1199-1203.
111. Кононенко, В.И., Яценко С.П. Некоторые физические свойства металлических расслаивающихся расплавов. / В.И. Кононенко, С.П. Яценко // Известия АН СССР, Металлы, 1970. – №3. – С. 205-208.
112. Wobst, M. Oberflächenspannung und Dichte schmelzflussiger Legierungen von binaren Tellur-und Selensystemen mit gleichzeitig vorliegenden Mischungslücken und Verbindungen / M. Wobst // Wiss. Z. d. Tehn. Hochsch. Karl-Marx-Stadt, 1970. – V. 12. – №4. – P. 393-414.
113. Глазов, В.М. Исследование расслаивания расплавов в системе Sb-Se акустическим методом / В.М. Глазов, С.Г. Ким, К.Б. Нуров // Известия АН СССР. Неорганические материалы, 1990. – Т. 26. – №3. – С. 526-529.
114. Глазов, В.М. Исследование расслаивания расплавов в системах галлий-кадмий и висмут-цинк. / В.М. Глазов, С.Г. Ким, В.И. Тимошенко, К.Б. Нуров // Журнал физической химии, 1988. – Т. 62. – №9. – С. 2510-2513.
115. Глазов, В.М. Акустическое исследование области расслаивания расплавов в системе In-Se / В.М. Глазов, С.Г. Ким, К.Б. Нуров // Известия Академии наук СССР. Неорганические материалы, 1989. – Т. 25. – №5. – С. 859-861.
116. Зломонов, В.П., Новоселова А.В. Р-Т-х - диаграммы состояния систем металл-халькоген / В.П. Зломонов, А.В. Новоселова // М.: Наука, 1987. – 208 с.

117. Абрикосов, Н.Х. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н.Х. Абрикосов, В.Ф. Банкина, Л.Б. Порецкая // М.: Наука, 1975. – 219 с.
118. Григорчак, И.И. Плотность состояний в интеркалированных слоистых полупроводников / И.И. Григорчак, Б.А. Лукиянец, С.П. Ковалюк // Украинский физический журнал, 1981. – Т. 26. – №7. – С. 1165-1168.
119. Джураев, Т.Д., Тошев М.Т., Нуров К.Б., **Джафаров А.С.** Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграмм фазовых равновесий в системах индия с бором, углеродом и ниобием / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканская научно - практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорг. химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, докт. хим. наук, профессора Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. – С. 48-51.
120. **Джафаров, А.С.** Расчет термодинамической активности и свободной энергии Гиббса компонентов в двойных сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) в жидком состоянии / **А.С. Джафаров** // Республиканская научно - практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорг. химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, докт. хим. наук, профессора Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. –С. 82-89.

Интишорот аз рӯйи мавзуи диссертатсия.

Мақолаҳо дар маҷаллаҳои илмии тақризшаванда

[1-М]. **Джафаров, А.С.** Особенности характера температурной зависимости скорости распространения ультразвука расплавов металлов и полупроводников за куполом расслаивания / **А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, А.Н. Мирзозода, Т.Дж. Джураев** // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» Таджикского аграрного университета им. Ш. Шохтемур, 2021. – №2 (91). – С. 108-110.

[2-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование двойных систем с особыми температурными точками / **А.С. Джафаров, К.Б. Нуров** // Док. национальной Академии наук Таджикистана, 2021. – Т. 64. – №7-8. – С. 442-448.

[3-М]. **Джафаров, А.С.** Определение линии моновариантного равновесия в расплавах систем индий-халькогены (сера, селен и теллур) / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Т.Дж. Джураев** // «Политехнический Вестник», серия Инженерные исследования ТГУ им. акад. М. С. Осими, 2021. – №4 (56). – С. 35-40.

[4-М]. **Джафаров, А.С.** Фазовые равновесия в системе In-Te / **А.С. Джафаров** // Доклады национальной Академии наук Таджикистана, 2022. – Т. 65. – №3-4. – С. 233-239.

[5-М]. **Джафаров, А.С.** Термодинамические активности и свободная энергия Гиббса компонентов в сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) / **Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев** // «Политехнический Вестник». Серия: Инженерные исследования Таджикского технического университета им. ак. М.С. Осими, 2022. – №2 (58). – С. 90-94.

[6-М]. **Джафаров, А.С.** Поведение акустических параметров вблизи критических точек системы жидкость-жидкость / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Рустами Т., Т.Дж. Джураев** // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава, 2022. – №2/2 (99). – С. 71-77.

[7-М]. **Джафаров, А.С.** Скорость распространения ультразвука как структурно-чувствительный характеристик для изучения молекулярно-кинетические свойства расплавов металлов и полупроводников / К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев, А.Н. Мирзозода, **А.С. Джафаров**, Рустами Т. // Вестник Таджикского национального университета: Серия естественных наук, 2023. – №1. – С. 160-169.

[8-М]. **Джафаров, А.С.** Закономерности изменения энергии взаимнообмена индия с элементами периодической таблицы (ПТ) от их порядкового номера / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М. Тошев // Чебышевский сборник (Scopus), 2023. – Т. 24. – №5 (91). – С. 266-273.

[9-М]. **Джаъфари А.С.** Разработка технологической схемы ликвационного рафинирования индия от некоторых тугоплавких примесей / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **А.С. Джаъфари** // Вестник Таджикского технологического университета: Технология и химия, 2024. – №1 (56) – С. 41-47.

Ихтироот:

[10-М]. **Джафаров, А.С.** Устройство для нагрева исследуемого образца из металла или полупроводника / **Джафаров А.С.**, Нуров К.Б., Джураев Т.Дж., Тошов М.А., Мирзозода А.Н., Мухаббатов Х.К. РТ №ТJ 1321 от 23.05.2022 г.

Мақолаҳо маҷаллаҳои дигар ҷопшуда:

[11-М]. **Jafarov, A.S.** Investigation of the region of examination of melts in systems In-B^{VI} (B^{VI} -S, Se, Te) by the acoustic method / К.В. Nurov, Т.Д. Dzhuraev, **A.S. Jafarov** // Austrian Journal of technical and natural sciences», Vienna, 2022. – №3-4. – P. 44-51.

[12-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах полупроводниковых соединений Sb₂Se₃ и Bi₂Se₃ / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Международный научно-практический журнал Endless light in science. Казахстан, 2022. – С. 133-137.

[13-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование двухкомпонентные монотектические системы ультразвуковым методом / К.Б. Нуров, А.С. **Джафаров** // Международный научный журнал «Национальная Ассоциация Ученых» г. Екатеринбург, 2022. – Т. 2. – №82. – С. 60-66.

Фишурдаи маърузаҳо дар конференсияҳо

[14-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование области ограниченной растворимости в жидком состоянии в бинарных системах индия с селеном и теллуrom / К.Б. Нуров, А.С. **Джафаров**, Т.Дж. Джураев, М.Т. Тошев, Х.К. Мухаббатов // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» (9-10 декабря 2021 г.). – Душанбе: ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – С. 85-90.

[15-М]. **Джафаров, А.С.** Основные проблемы в технике высокотемпературных акустических экспериментов с расслаиванием компонентов в жидком состоянии / К. Б. Нуров, А. Н. Мирзозода, Рустами Т., А. С. **Джафаров** // Маводди конференсияи илмӣ-амалии чумхуриявӣ дар мавзуи: «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносию риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040), 50-солагии факултети физика ва 90-солагии ДДОТ ба номи С. Айнӣ (9 юни соли 2021). – Душанбе, 2021. – С. 133-136.

[16-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование области расслаивания расплавов в системах In - V^{VI} (V^{VI} - S, Se, Te) / К.Б. Нуров, А.С. **Джафаров**, Т.Дж. Джураев // Материалы республиканская научно-практическая конференция «Послание-путеводитель» (29 февраля 2022 г.). – Бустон: ГМИТ, 2022. – С. 43-47.

[17-М]. **Джафаров, А.С.** Прогноз образования интерметаллических соединений в бинарных системах индия с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ) / Т.Дж. Джураев, А.С. **Джафаров**, К.Б. Нуров, Р.А. Наимов, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной

научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 85-88.

[18-М]. Джафаров, А.С. Расчет энергии межчастичного взаимодействия и координат критического расслоения в системах индий-халькогены (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 239-241.

[19-М]. Джафаров, А.С. Исследование области ограниченной растворимости в системах In- V^{VI} (V^{VI} -S, Se, Te) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Наука и технология» (15-16 мая 2022 г.). – Казахстан, 2022. – С. 179-187.

[20-М]. Чафаров, А.С. Тадқиқоти системаҳои дучузъа бо нуқтаҳои ҳарорати махсус / **А.С. Чафаров** // Материалы международной научно – методической конференции. «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны» посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественно математических и точных дисциплин в области науки о образования (2020-2040 гг.)», а также четвертая цель национальной стратегии – ускорение индустриализации страны. (14 июля соли 2022). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2022. – С. 153-156.

[21-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование диаграммы с ограниченной растворимостью в жидком состоянии / **А.С. Джафаров, К.Б. Нуров** // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум» (1-7 июля 2022 г.). – Бурятия, г. Улан-Удэ, 2022. – 69 с.

[22-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах селенида сурьмы и висмута / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров** // Международная научно-практическая конференция «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (7 августа 2022 г.). – Челябинск, 2022. – С. 8-15.

[23-М]. **Джафаров, А.С.** Акустические исследования фазовых переходов и критических явлений в металлических и полупроводниковых жидкостях / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров** // Республиканской научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук» (28-29 октября 2022 г.). – Душанбе: филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, 2022. – С. 136-143.

[24-М]. **Джафаров, А.С.** Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграмм фазовых равновесий в системах индия с бором, углеродом и ниобием / **Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, А.С. Джафаров** // Республиканская научно - практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорг. химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, проф. Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. –С. 48-51.

[25-М]. **Джафаров, А.С.** Расчет термодинамической активности и свободной энергии Гиббса компонентов в двойных сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) в жидком состоянии / **А.С. Джафаров** // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Современное

состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, профессора Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. – С. 82-89.

[26-М]. Джаъфари, А.С. Раванди тозакунии ликватсионии индий аз ғашҳои мушкилгудоз / **А.С. Джаъфари, Т.Д. Джураев** // Маводди конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Нақши саноатикунонӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040) (23 майи соли 2024). – Душанбе: ДДОТ ба номи С.Айнӣ, 2024. – С. 109-114.

ЗАМИМАҲО

Дар замимаҳо натиҷаи асосии таҷрибаҳои гузаронидашуда оид ба суръати паҳншавии УС дар ҳароратҳои мухталиф барои гудохтаҳои концентратсияшон гуногун дар шакли ҷадвал ва шаҳодатномаи ихтироӣ оварда шудааст (ҷадвалҳои 1, 2, 3, 4, 5, 6)

Ҷадвали 1

Суръати паҳншавии УС
дар гудохтаи In

In	
T, K	ϑ_s , м/с
463	2314
523	2299
641	2267
675	2260
702	2254
727	2245
785	2232
820	2224
867	2211
930	2192
954	2186
1045	2163
1049	2161
1067	2154
1216	2125

Ҷадвали 2

Суръати паҳншавии УС
дар гудохтаи S

S	
T, K	ϑ_s , м/с
400	1340
438	1310
443	1290
450	1258
473	1240
493	1228
497	1223
503	1220
523	1190
540	1180
555	1162
565	1140
583	1120
608	1096
628	1074
660	1030
685	1003
700	980
725	950
730	940

Чадвали 3

Сурьати пахншавии УС дар

гудохтаи Se

Se	
T, K	ϑ_s , м/с
495	1103
512	1087
520	1075
533	1070
547	1057
557	1046
578	1027
587	1014
599	1008
609	998
623	988
627	978
651	969
663	961
673	950
685	944
697	932
708	925
717	921
723	918
935	908

Чадвали 4

Сурьати пахншавии УС дар

гудохтаи Te

Te	
T, K	ϑ_s , м/с
733	963
746	987
757	1000
770	1016
785	1031
797	1042
803	1048
818	1059
835	1072
854	1083
873	1095
884	1101
899	1106
914	1113
943	1121
963	1127
983	1131
1004	1134
1020	1138
1033	1140
1042	1139
1065	1140
1082	1143
1090	1143

Чадвали 5

Тағйирёбии суръати паҳншавии УС
бо баландии намуна дар ҳароратҳои
гуногун дар гудохтаи ҷудошавандаи
таркиби ибтидоӣ $In_{0.83}Se_{0.17}$

$In_{0.83}Se_{0.17}$		
T, K	h, mm	᠑, м/с
930	1	2010
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
917	1	2018
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	

идомаи чадвал 5		
T, K	h, mm	᠑, м/с
910	1	2036
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
903	1	2058
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
893	1	2075
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
917	1	1995
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	

Ҷадвали 6

**Тағйирёбии суръати паҳншавии УС
бо баландии намуна дар ҳароратҳои
гуногун дар ғудохтаи ҷудошавандаи
таркиби ибтидоӣ $In_{81.65}Te_{18.35}$**

$In_{81.65}Te_{18.35}$		
T, K	h, mm	ϑ , м/с
825	1	1960
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
813	1	1940
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	

идомаи ҷадвали 6							
T, K	h, mm	ϑ , м/с					
806	1	1920					
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
795	1 } 2 } 3 } 4 } 5 }	1990					
	6 } 7 } 8 } 9 } 10 }						
	783		1 } 2 } 3 } 4 } 5 }	2050			
			6 } 7 } 8 } 9 } 10 }				
			760		1 } 2 } 3 } 4 } 5 }	2110	
		6 } 7 } 8 } 9 } 10 }					
		795			1 } 2 } 3 } 4 } 5 }		1890
				6 } 7 } 8 } 9 } 10 }			
				783	1 } 2 } 3 } 4 } 5 }		
					6 } 7 } 8 } 9 } 10 }		
760					1 } 2 } 3 } 4 } 5 }	1825	
					6 } 7 } 8 } 9 } 10 }		

НАХУСТПАТЕНТ

ҶУМҲУРИИ
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ
ПАТЕНТӢ

ШАҲОДАТНОМА

Шаҳрванд Джафаров А.С.

муаллифи ихтирои *Дастгоҳ барои гармкунии намунаҳои тадқиқшаванда аз металл ва ё нимнокил*

Ба ихтироъ нахустпатенти № ТҶ 1321 дода шудааст.

Дорандаи нахустпатент Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни Ҷумҳурии Тоҷикистон

Сарзамин Ҷаммуаллиф(он) Нуров Қ.Б., Джураев Т.Дж., Тошев М.Т., Мирзозода А.Н., Мухаббатов Х.К.

Аввалияти ихтироъ 23.05.2022

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 23.05.2022

Аризаи № 2201688

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон

21 ноябри с. 2022 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент

эътибор дорад аз 23 майи с. 2022 то 23 майи 2032с.

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

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин **Джафаров А.С.**

Является автором изобретения **Устройство для нагрева исследуемого образца из
металла или полупроводника**

На изобретение выдан малый патент №ТJ **1321**

Патентообладатель **Таджикский государственный педагогический университет
имени С. Айни**

Страна **Республика Таджикистан**

Соавторы **Нуров К.Б., Джураев Т.Дж., Тошев М.Т., Мирзозода А.Н.,
Мухаббатов Х.К.**

Приоритет изобретения **23.05.2022**

Дата подачи заявления **23.05.2022**

Заявление № **2201688**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Республики Таджикистан **21 ноября 2022**

Малый действителен с **23 мая 2022** г. по **23 мая 2032** г.

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот,
установленных действующим законодательством

