

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС
ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ КИМЁ – ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ**

Қўл ёзма ҳуқуқида

УДК 663.52:681.54

Адилов Мирсарвар

**ҚИСҚА ЦИКЛИ АДСОРБЦИЯ ЖАРАЁНИНИ ОПТИМАЛ
БОШҚАРИШ ТИЗИМИНИ ШАКЛЛАНТИРИШ**

5A5610101-Хизмат кўрсатиш

Магистр

академик даражасини олиш учун ёзилган

диссертация

Илмий рҳбар:

Т.ф.н. Чориев А.Ж.

ТОШКЕНТ – 2013

МУНДАРИЖА	бет
Кириш.....	3
1-БОБ. АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ	
1.1. Технологик жараённинг қисқача тавсифи.....	7
1.2. Адсорбцион ажралишнинг физик – кимёвий асослари	11
1.3. Адсорбция кинетикаси ва динамикасининг асосий тушунчалари..	15
1.4. Сорбция динамикасига адсорбция изотермалари шакллари- нинг таъсири.....	19
1.5. Ноизотермик адсорбция динамикаси	22
1.6. Газ аралашмаларини ажратишнинг қиздирилмайдиган адсорбция жараёнларини ташкил этишнинг қисқача тавсифи.....	24
1-боб бўйича хулоса.....	36
2-БОБ. ГАЗАРАЛАШМАЛАРИ АЖРАЛИШ ЖАРАЁНИНИ ҚИСКА ЦИКЛИ ҚИЗДИРИШСИЗ АДСОРБЦИЯ УСУЛИ БИЛАН ИМИТАЦИОН ТАДҚИҚ ҚИЛИШ	
2.1. Имитацион тадқиқот ва натижалар таҳлили.....	37
2.2. Имитацион тадқиқотларнинг асосий натижалари.....	53
2-боб бўйича хулоса.....	53
3-БОБ. ГАЗ АРАЛАШМАЛАРИ АДСОРБЦИОН АЖРАЛИШ ЖАРАЁНИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ ТИЗИМЛАРИ	
3.1. Адсорбцион ажралиш жараёнларини бошқариш соҳасининг ҳозирги замон таҳлили.....	54
3.2. Абсорбцион ажралиш жараёнини оптимал бошқариш.....	56
3-боб бўйича хулоса.....	61
Хулоса	62
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.....	63
Илова	71

КИРИШ.

Мавзунинг долзарблиги. Адсорбция амалиётда газ ва суюқ мухитдаги аралашмани ажратишнинг универсал усулидир. Замонавий кимё, газ, нефтни қайта ишлаш металлургия, тоғ-кон саноатида, ҳарбий техникада адсорбция усули қуритиш мукамал тозалаш, хом ашё маҳсулотлари сифатини яхшилашда ҳавони тозалаш, водород олишда кенг қўланиладиган усулидир.

Ҳозирги вақтда чет эл адабиётида TSA ва PSA усуллари деб номланувчи икки хил усул кенг миқёсда қўлланилмоқда ва ишлаб чиқилмоқда.

TSA (temperature swing adsorption) – усули турли хил температурада адсорбция-десорбция жараёнларининг анъанавий усулидир. Адсорбция босқичининг тўлиқ технологик жараёни адсорбент қатламини қиздириш, навбатдаги циклга ўтиш олдида десорбция босқичи ва совутиш босқичини ўз ичига олади. Бу усулнинг асосий камчилиги адсорбент қатламини доимий равишда қиздириш ва совутиш зарур бўлганлиги учун бу усулни қўллашни мураккаблаштиради.

PSA (pressure swing adsorption, ёки қисқа цикли қиздиришсиз Адсорбция) – усули янги илғор усулдир. Бу усулнинг асосий фарқи жиҳати шундаки, Адсорбция ва десорбция цикли бир хил температурада ўтказилади, аммо Адсорбцияланувчи компонентларнинг порция босими Адсорбцияда десорбцияга нисбатан кўп бўлади.

PSA жараёнининг TSA жараёнидан асосий устунлиги, катта энергия ва вақтни талаб қиладиган Адсорбцияланувчини қиздириш ва совутиш жараёнини четлаб ўтишидадир.

Газларни тозалаш ва ажратишнинг адсорбцион жараёнини ҳисобга олиш ва технологик шаклини танлашда тадқиқотчи ёки муҳандис кўп сонли ва турли хил жиҳатларни ҳисобга олиш зарур (мувозанат, кинетика, динамика, гидравлика ва ҳоказо). Технологик шакл ва бошқариш тизимининг янада мақбул вариантини яратиш мураккабдир.

Мавжуд техник ечимларнинг кўп хиллигига қарамай, газ аралашмаларини Адсорбцион тозалаш ва ажратиш жараёнини такомиллаштиришда, ҚҚА

кўрсатмаларини ишлаб чиқиш жараёнида физик моделлаштириш асосий босқич ҳисобланади. Босим, температура ва бошқа параметрларнинг ўзгариши адсорция жараёнининг сифат кўрсаткичларига бевосита таъсир кўрсатади. Физик моделлаштиришда санаб ўтилган факторларни тўлақонли ҳисобга олиш сезиларли харажатларга олиб келади: моддий, вақт ва меҳнат ресурслари.

Шу сабабли, технологик шаклларни ва адсорцион ва гидромеханик жараёнлар назариясига асосланган бошқаришнинг математик моделлаштириш босқичи ва бошқаришнинг автоматик бошқариш назариясини киритиш мақсадга мувофиқдир. Кенг миқёсдаги бошқарувчи ва ғалаёнли ўзаро таъсирларнинг ўхшаш математик моделининг мавжудлиги куйидагиларга имкон беради: ҚҚА ускуналарининг самарадорлигини оширишнинг яъни, йўллари қидириш, илмий текшириш ва созлаш ҳамда ишга тушириш ишлари вақтини қисқартириш, шунингдек қисқа циклли қиздиришсиз адсорбция шароитида газ аралашмаларини тозалаш ва ажратиш жараёнларини шакллантириш.

ҚҚА қурилмаларида кечаётган жараёнларнинг бошқарилиши зарурлиги ва муҳимлиги табиийдир. ҚҚА қурилмаларида кенг диапазондаги ғалаёнли ўзаро таъсирларнинг берилган сифат кўрсаткичларини таъминлашда, амалиёт тез-тез талаб қилганидек, юқори самарали бошқарувни ишлаб чиқмасликнинг иложи йўқ. Бундан ташқари, бошқариш қонуни ва автоматлаштиришнинг техник воситаларини танлаш узоқ муддатга газ тақсимлагич қурилманинг самарадорлик кўрсаткичининг муҳимлигини таъминлайди.

Муаммони ўрганилганлик даражаси. Маҳаллий ва хорижий адабиётлари ва патент ахборотлари манбаларини таҳлил қилиш ва баҳолаш шуни кўрсатадики, қисқа циклли адсорбция жараёнини ташкил этиш ва уни такомиллаштириш ҳамда оптимал бошқариш тизимини шакллантириш бўйича еталича тадқиқотлар ўтказилмаган. Бу эса реал жараён ва қурилмаларни математик моделлаштириш асосида қисқа циклли адсорбция

жараёнини оптимал бошқариш тизимини шакллантириш имкониятини беради.

Диссертация ишининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Тошкент кимё технология институтининг мувофиқлаштирилган илмий тадқиқот ишлари режаларига мувофиқ бажарилди.

Тадқиқот мақсади. Қисқа циклли адсорбция жараёнини математик ва компьютер моделлартириш асосида оптимал бошқариш тизимини шакллантириш.

Тадқиқот вазифалари. Қисқа циклли адсорбция жараёнини автоматлаштирилган бошқаришнинг ҳозирги ҳолати бўйича адабиётлар таҳлили; тизимли таҳлил қилиш ва математик моделлаштириш; жараёнини автоматик бошқариш тизимини идентификациялаш; оптимал бошқариш жараёнини синтез қилиш асосида ростлаш тизимини танлаш ва оптимал кўрсаткичларини аниқлаш; оптимал бошқариш тизимини функционал схемасини ва бошқариш архитектурасини ишлаб чиқиш; таклиф қилинган бошқариш тизимини иқтисодий самарадорлигини ҳисоблаш.

Тадқиқот объекти. Қисқа циклли адсорбцион қурилма.

Тадқиқот предмети. Қисқа циклли адсорбция жараёнини математик модели асосида оптимал бошқариш тизимини алгоритмлари

Тадқиқот усуллари. Тизимли таҳлил, математик моделлаштириш, аналитик тажрибалар дастлабки ҳисоблашлар.

Ҳимояга қуйидаги асосий йўналишлар чиқарилади:

- қисқа циклли адсорбция жараёнини тизимли таҳлил қилиш асосида математик моделлаштириш;
- қисқа циклли адсорбция жараёнини автоматик бошқариш тизимини идентификациялаш;
- қисқа циклли адсорбция жараёнини оптимал бошқариш жараёнини синтез қилиш асосида ростлаш тизимини танлаш ва оптимал кўрсаткичларини аниқлаш;

- қисқа цикли адсорбция жараёнини оптимал бошқариш тизимини функционал схемасини ва бошқариш архитектурасини ишлаб чиқиш;
- таклиф қилинган бошқариш тизимини иқтисодий самарадорлигини ҳисоблаш.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги шундан иборатки, қисқа цикли адсорбция жараёнини тизимли таҳлил қилиш асосида математик модели ишлаб чиқилиб, автоматик бошқариш тизимини идентификацияланди. Шунингдек, қисқа цикли адсорбция жараёнини оптимал бошқариш жараёнини синтез қилиш асосида ростлаш тизимини танлаш ва оптимал кўрсаткичларини аниқланди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Қисқа цикли адсорбция жараёнини оптимал бошқариш тизимини функционал схемасини ва бошқариш архитектурасини ишлаб чиқилиб, таклиф қилинган бошқариш тизимини иқтисодий самарадорлигини ҳисобланди..

Тадқиқот натижаларни қўллаш. Тадқиқот натижалари Шуртан газ кимё мажмуасида қўлланилиши мумкин.

Натижаларни нашр этилиши. Диссертация иши бўйича чоп этилган илмий ишлар сони 2 та ташкил этади.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, учта бўлим, ўрганилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. У машина матнидаги _____ бетда баён этилган бўлиб, ____ та расм ва _____ та жадвал киритилган. Файдаланган адабиётлар рўйхати _____ та манбани ташкил этади.

1-БОБ. АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ

1.1. Технологик жараённинг қисқача тавсифи

Адсорбция амалиётда газ ва суюқ муҳитдаги аралашмани ажратишнинг универсал усулидир. Замонавий кимё, газ, нефтьни қайта ишлаш металлургия, тоғ-кон саноатида, ҳарбий техникада адсорбция усули қуриш мукаммал тозалаш, ҳом ашё маҳсулотлари сифатини яхшилашда ҳавони тозалаш, водород олишда кенг қўланиладиган усулидир. Адсорбция биосферани зарарли саноат ичкиндилардан тозалаш усуллари орасида етакчи ўринни эгаллайди.

Газларни тозалаш, ажратиш ва айиришни Адсорция усули тармоқлидир. Ҳозирги вақтда чет эл адабиётида TSA ва PSA усуллари деб номланувчи икки хил усул кенг миқёсда қўлланилмоқда ва ишлаб чиқилмоқда.

TSA (temperature swing adsorption) – усули турли хил температурада Адсорция-десорбция жараёнларининг анъанавий усулидир. Адсорция босқичининг тўлиқ технологик жараёни адсорбент қатламини қиздириш, навбатдаги циклга ўтиш олдида десорбция босқичи ва совутиш босқичини ўз ичига олади. Бу усулнинг асосий камчилиги адсорбент қатламини доимий равишда қиздириш ва совутиш зарур бўлганлиги учун бу усулни қўллашни мураккаблаштиради.

PSA (pressure swing adsorption, ёки қисқа цикли қиздиришсиз Адсорция) – усули янги илғор усулдир. Бу усулнинг асосий фарқи жиҳати шундаки, Адсорция ва десорбция цикли бир хил температурада ўтказилади, аммо Адсорцияланувчи компонентларнинг порция босими Адсорцияда десорбцияга нисбатан кўп бўлади.

PSA жараёнининг TSA жараёнидан асосий устунлиги, катта энергия ва вақтни талаб қиладиган Адсорцияланувчини қиздириш ва совутиш жараёнини четлаб ўтишидадир.

Газларни тозалаш ва ажратишнинг Адсорцион жараёнини ҳисобга олиш ва технологик шаклини танлашда тадқиқотчи ёки муҳандис кўп сонли ва турли жиҳатларни ҳисобга олиш зарур (мувозанат, кинетика, динамика,

гидравлика ва хоказо). Технологик шакл ва бошқариш тизимининг янада мақбул вариантыни яратиш мураккабдир.

Мавжуд техник ечимларнинг кўп хиллигига қарамай, газ аралашмаларини Адсорцион тозалаш ва ажратиш жараёнини такомиллаштиришда, ҚҚА кўрсатмаларини ишлаб чиқиш жараёнида физик моделлаштириш асосий босқич ҳисобланади. Босим, температура ва бошқа параметрларнинг ўзгариши Адсорция жараёнининг сифат кўрсаткичларига бевосита таъсир кўрсатади. Физик моделлаштиришда санаб ўтилган факторларнинг ўлақонли ҳисобга олиш сезиларли харажатларга олиб келади: моддий, вақт ва меҳнат ресурслари.

Шу сабабли, технологик шаклларни ва Адсорцион ва гидромеханик жараёнлар назариясига асосланган бошқаришнинг математик моделлаштириш босқичи ва бошқаришнинг автоматик бошқариш назариясини киритиш мақсадга мувофиқдир. Кенг миқёсдаги бошқарувчи ва ғалаёнли ўзаро таъсирларнинг монанд математик моделининг мавжудлиги қуйидагиларга имкон беради: ҚҚА ускуналарининг самарадорлигини оширишнинг Яъни йўллаини қидириш, илмий текшириш ва созлаш ҳамда ишга тушириш ишлари вақтини қисқартириш, шунингдек қисқа циклли қиздиришсиз Адсорция шароитида газ аралашмаларини тозалаш ва ажратиш жараёнларини шакллантириш.

ҚҚА қурилмаларида кечаётган жараёнларнинг бошқарилиши зарурлиги ва муҳимлиги табиийдир. ҚҚА қурилмаларида кенг диапазондаги ғалаёнли ўзаро таъсирларнинг берилган сифат кўрсаткичларини таъминлашда, амалиёт тез-тез талаб қилганидек, юқори самарали бошқарувни ишлаб чиқмасликнинг иложи йўқ. Бундан ташқари, бошқариш қонуни ва автоматлаштиришнинг техник воситаларини танлаш узоқ муддатга газ тақсимлагич қурилманинг самарадорлик кўрсаткичининг муҳимлигини таъминлайди.

1.2.Адсорцион атамашунослиги

Адсорция қандайдир ўзаро туташ ҳолатдаги бир модда зарраларининг иккинчи модда зарралари орасига сингиш ҳодисасидир. Адсорбланган молекулалар ва атомларлар иккинчи жисм сирт қисмидаги бошқа атом ва молекулалар билан ўзаро таъсирлашиб сиртнинг эркин энергиясини камайтиради. Шу сабабли Адсорция ихтиёрий жараён бўлиб, иссиқлик ажратиш билан кечади. Адсорцияга тескари жараён десорбсия дейилади.[1,2]

Халқаро “моза ва амалий кимё” иттифоқи (ГОРАС) томонидан таклиф этилган атамаларни киритамиз:

адсорбент - адсорбция ҳодисаси юз берадиган модда.

адсорбат – адсорбланган модда бўлиб, у адсорбентнинг юзасида ҳажми бўйлаб жойлашади.

Умумий атамаларни ишлатишга йўл қўйилади: Сорбент, сорбат, сорбмив. Шундай қилиб, адсорбтив адсорбентда адсорбланиб, адсорбентга айланади.[1,2]

Адсорбентлар қуйидаги хоссаларга эга[1].

- адсорбентлар зичлиги, унинг тавсифи учун учта кўрсаткич ишлатилади

О ҳақиқий зичлик ρ - ҳақиқий зичликни аниқлашнинг усулларида биригерметик колбага жойланган адсорбент g ваамалда адсорбентли колба бўлса колба ҳажми V_1 ва газли адсорбентликолба ҳажми V_2 орасидаги фарқ адсорбент ташкил қилган ҳажмга мос келади. Бундан ҳақиқий зичлик

$$\rho_x = g / V_1 - V_2$$

О эҳтимоли бор бўлган зичлик ρ адсорбент донаси массасининг унинг ҳажми нисбатига мос келади.

О гравиметрик ёки тўкма зичлик ρ_r ни масса бирлигидаги адсорбент катлами ҳажми характерланади.

О донатор зичлик адсорбент жинси эгалламаган донаторҳажмининг фоизлардаги улуши ифодалайди. Уни қуйидаги муносабат ифодалайди, яъни:

$$\&_{rp} = 1 - \rho_{\Delta} / \rho_x$$

- Қатлам ғоваклиги ϵ_k - адсорбент доначалари эгалламаган қатлам ҳажмли улуши қуйидагича аниқланади:

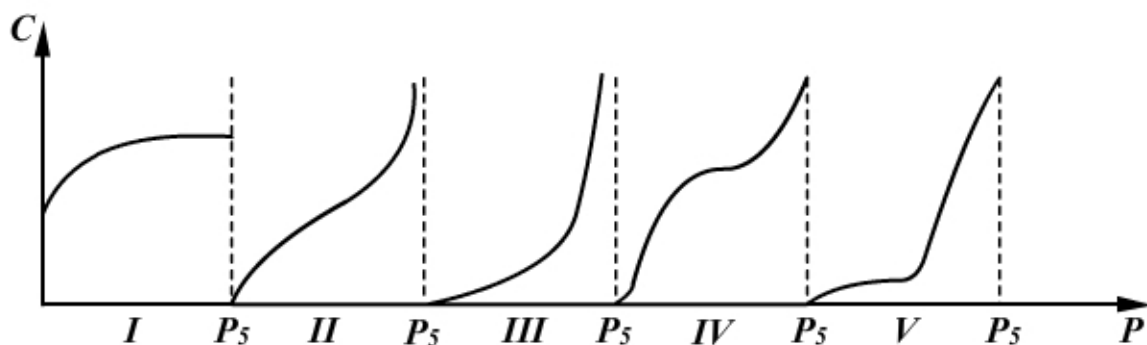
$$\epsilon_k = 1 - (\rho_s / \rho_x)$$

- донадор метрик таркиб, кичик ўлчамли уяли ғалварда тутиб қолинадиган зарралар миқдори билан характерланади

- адсорбция изотермаси – доимий T температурада адсорбциялаш қобилияти α нинг босим P габоғлиқлиги яъни:

$$\epsilon_k = f(x), T = \text{const.}$$

Адсорбция изотермаси, адсорбент структураси, адсорбциянинг иссиқлик эффекти ва бир қанча физик-кимёвий ва технологик маълумотлар манбаи ҳисобланади.



1.1 расм

Адсорбция изотермаларининг бешта асосий хили фарқланади. У 1.1 расмда тасвирланган.

I хил микротешикли адсорбентлар учун характерли. Унда амалда ўтиш ғаваги бўлмайди. **II** , **IV** изотермаларда бошланғич қавариқ соҳалар макроғоваклар билан бир қаторда катта ёки кичикҳажмдаги микроғовакларнинг сезиларли миқдорда борлигини кўрсатади.

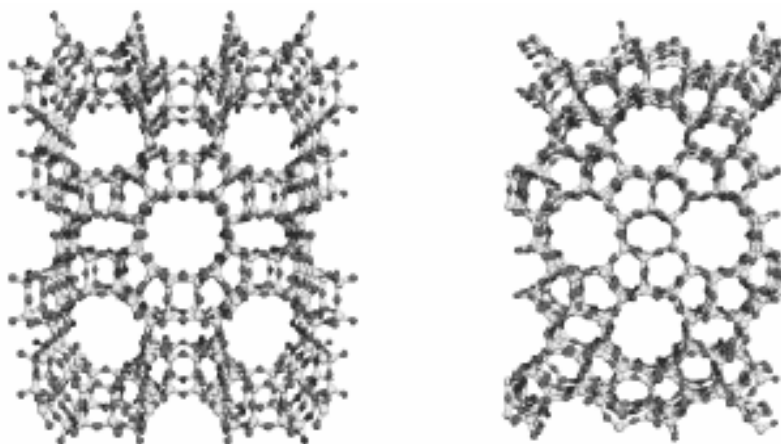
II хилнинг **IV** ва **III** хилнинг **V** хилданасосий фарқи шундаки, копияр конденсация натижасида ўтиш ғовакларининг ҳажми нисбий босим бирга яқинлашмасдан илгари адсорбант билан тўлдирилади. Бунинг натижасида изотермаларда горизонтал соҳалар пайдо бўлади.

1.3. Адсорбцион ажралишнинг физик – кимёвий асослари

Газ аралашмаларини тозалаш ва ажратишнинг адсорбция жараёни турли массали, ҳлчамли ва молекуляр тузилиши ҳар хил бўлган аралашмаларга асосланган. Ҳаво макрокомпонентларининг молекуляр массалари (азот ва водород) бир – бирига яқин бўлиб 28 ва 32 ликли ташкил қилади. Бу жисмларнинг хоссаларида кўрсатилган фарқ уларнинг адсорбцион ажралишида ишлатилмайди. Шунини такидлаш зарурки айнан шу фактор охири оқибатда ҳавонинг ҳавонинг паст температурали ажралишининг эффекинни аниқлайди.

УМҒ нинг адсорбция техникасида қўлланиши, газ аралашмаслари компонентлари молекулаларининг критик диаметрларига асосланган. (Ҳасалан, азотнинг молекуласининг критик диаметри 0.37,...,0.39, водородники 0.32 нм). УМҒга эга бўлган бир жинсли тешикли структурада кичик критик ўлчамли молекула тезроқ адсорбланади.

Цеолитлар – ишқорий ва ишқорий ер металлларининг гидратланган кристаллангин алюмосиликатидир. Қиздирилганда улар дегидратланади, лекин емирилмайди: Сувнинг йўқотилиши ҳажмли тешикли структура ҳосил қилади. Цеолитларнинг сиртида тақсимланган манфий заряд мавжуд бўлиб, уларнинг манбаи водород атомлари ҳисобланади. Улар кхп миқдорда алюмосиликатлар молекулаларида учрайди (1.2-расм).

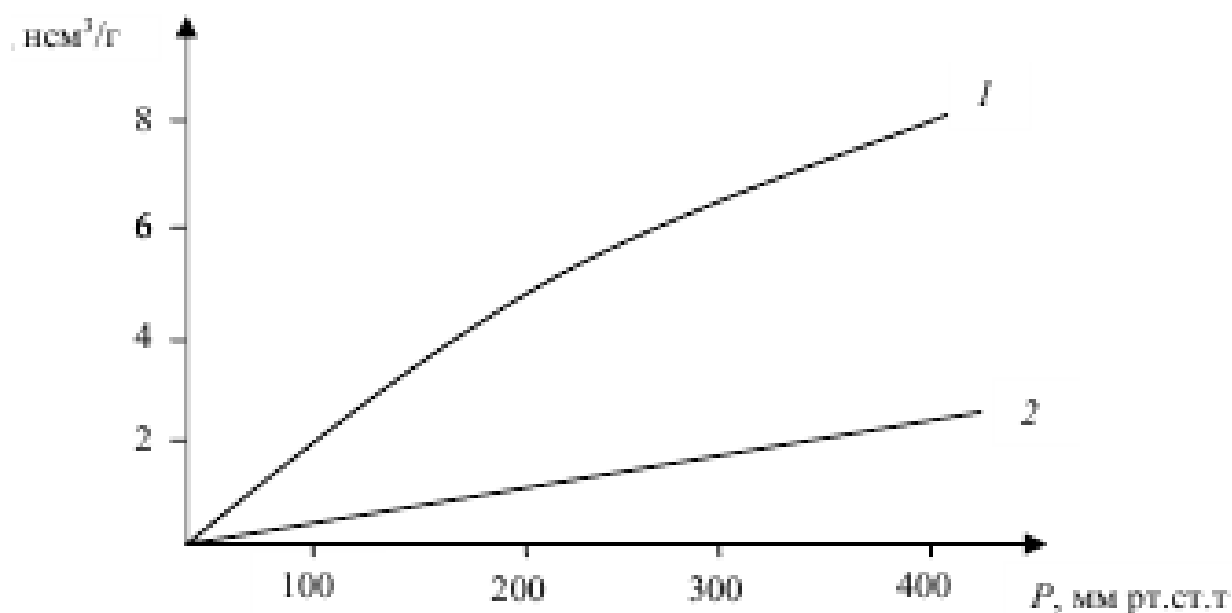


1.2 -расм. Цеолитларнинг структураси

Газ аралашмаларинитозалаш ва ажратиш жараёнида цеолитларда аралашма компонентлар мавжудлиги ёки цеолитларда катион зичлиги адсорбентнинг кимёвий таркибикристаллографикура билан аниқланади. Ҳозирги пайтда кристаллограйик типлари А,Х,У,М ва ҳоказо бўлган сунъий цеолитлар ишлаб чиқарилмоқда. Улардаги катион зичлиги қуйидагича аниқланади:

$$A > X > Y > M$$

Цеолитларнингмувоззанатли ютиш қобилияти ҳақидаги ахборотни адсорбция изотермаларида кўпроқ олиш мумкин. Мисол тариқасида 1.3 расмда СаА цеолитида $P < 0.1$ МПа [4] бўлганда азот ва водород изотермалари тасвирларган. Кўрсатилган изотермалар деярли чизиқлибу ижодий кўрсатгич дегани.Чизиқли адсорбция ва десорбция жараёнининг осонроқ ўтишидан далолат беради.



1.3-расм. Адсорбция изотермалари

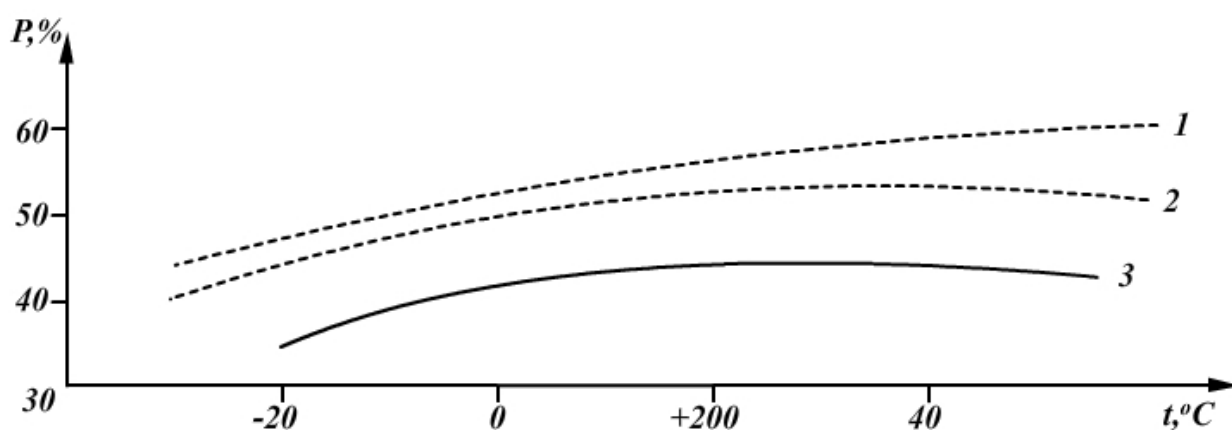
Азот ва водород адсорбцияси изотермасининг аниқроқ аппроксимизацияси Фрейндлихтенгламасига олиб келади:

$$\alpha = A\rho^m$$

бунда, α - адсорбция катталиги, $\text{нм}^3/\text{с}$; P - тенг вазнли босим, A , m -тенглама параметрлари изотермаси. Тенглама параметрлари адсорбция иссиқлик катталиги билан ўзаро боғлиқ. Улар цеолит турларига қараб ўзгаради ва ўртача азотучун $1.8, \dots, 4.3 \text{ ккал/моль}$. Адсорбция иссиқлигининг келтирилган қийматлари катта эмас, бу эса адсорбция жараёнининг сезгирлигини пасайтиради. 1.4 расмда кўринадикки цеолитлар ёрдамида газларни адсорбциялаш ажратишнинг оптимал температура ҳолати мавжуд [4] .

Цеолитлар қўлланишини ёки УМФ ниётанлашдаги факторлардан бири газ аралашмаларининг ажралиш характериدير. N_2O_2 тизимнинг ажралишида углерод молекулалари ғалвирлар оммалашмоқда. Бу шу билан изоҳланадики, водород ва азот молекулаларининг ўлчамлари ўзаро яқин, квадрунол матали эса сезиларли фарқланади. $N_2(0.43 \cdot 10^{15} \text{ Кл-м})$, $O_2(0.14 \cdot 10^{15} \text{ Кл-м})$. Бундан ташқари УМФ нинг электрланиши ва электр разряд =осил sbkbib уларнинг мавжуд бўлган муҳим объектнинг қурилмаларида қўлланиши мақсадга мувофиқ эмас.

Цеолит ғовакларининг ўлчамлари доимий катталик эмас: температура ортиши билан у ҳам ортади. Цеолит тартибланган икки ғовакларга эга, адсорбция уларда Брунодера классификацияси бўйича I типли изотерма ёки Ленгмюров типидики изотерма каби чизилади. (1.4 расм)



1.4 расм Цеолитларнинг уч типни учун водород ажралиши жараёнининг температурага боғлиқлиги: 1-NaOH; 2-NaY; 3-CaA

Қаттиқ жисмларнинг солиштирма сирти ҳақидагитасаввурларни макроцикли цеолит кристалларига қўллаб бўлмайди, чунки адсорбция

уларда бутун жисмдаги бўшлиқларни тўлдириш орқали юз беради. Цеолитни тажриба йўли билан ўлчанган солиштирма сиртини берилган адсорбциянинг адсорбциясини характерловчи катталик сифатида қараш мумкин. “Монокатламли эквивалент” атамаси зич монокатламқўринишида жойланадиган, кристалл ички бўш катламини тўлдирилган барча молекулаларни эгаллайдиган юзани ифодалайди.

Цеолитларда адсорбцион майдон барча бўш ички ҳажмга тарқалади. Микроғоваклар ўлчамини бир неча молекула диаметри ташкил қилади, натижада бир неча қарама-қарши деворлар потенциал майдони қопланади, адсорбция изотермаси тўғри тўртбурчак шаклини эгаллайди. Бундай изотерма учун узун горизонтал майдон характерлидир.

Микротешикли аморф адсорбентлардаги адсорбция изотермаларига хос бўлган гистерезис (кечикиш)га кристалл цеолитлар адсорбция изотермасига эга эмас. Адсорбция ва десорбция тўлиқ қайтардир, демак десорбцион изотерма шохчаси адсорбцион изотерма шохчаси билан устма-уст тушади.

Цеолитнинг алюамикамкристаллари 3...5 мкм тартибидаги ўлчамга эга бўлиб, амалда қўлланишга ярамайди. Шунинг учун цеолит кукунини (шу жумладан боғловчи қўшимча билан) диаметри 0,5... 5 мм бўлган сферик ёки цилиндрик шаклда қолипланади. Таблеткаларни алломерциялаш жараёнида адсорбентнинг нисбатан катта босимларида капилляр конденсация юз бериши мумкин бўлган макроғоваклар ҳосил бўлади. [16]

Цеолитли адсорбентларда таблета ичида диффузия макроғовакларда содир бўлади. Адсорбцион ҳажмнинг асосий қисми кристалл ички ҳажмига тўғри келади, цеолит ҳажмининг ташқи сиртида 1% атрофидаги жисм адсорбланади. Кристалл ичида диффузия юзага келувчи катта каналлар ўзаро боғланувчи ойналар, ёки айрим ҳолларда параллел цилиндрик каналлар орқали боғланувчи бир хил ўлчамли бўшлиқлар билан ҳосил бўлган. Ички сиртни ҳосил қилувчи канал деворларини водород ионлари ҳосил қилади. Бу деворларнинг айрим жойларида заряди уларнинг координатасига боғлиқ бўлган катионлар жойлашади.

Диффузион каналлар, уч, икки ёки бир ўлчамли цилиндрик каналлар тизимини ҳосил қилиши мумкин. Уч ўлчамли каналларда цеолитларда диффузия эркин кечади. Уч ўлчамли ёки икки ўлчамли диффузия содир бўлувчи бир қанча цеолит структуралари мавжуд.

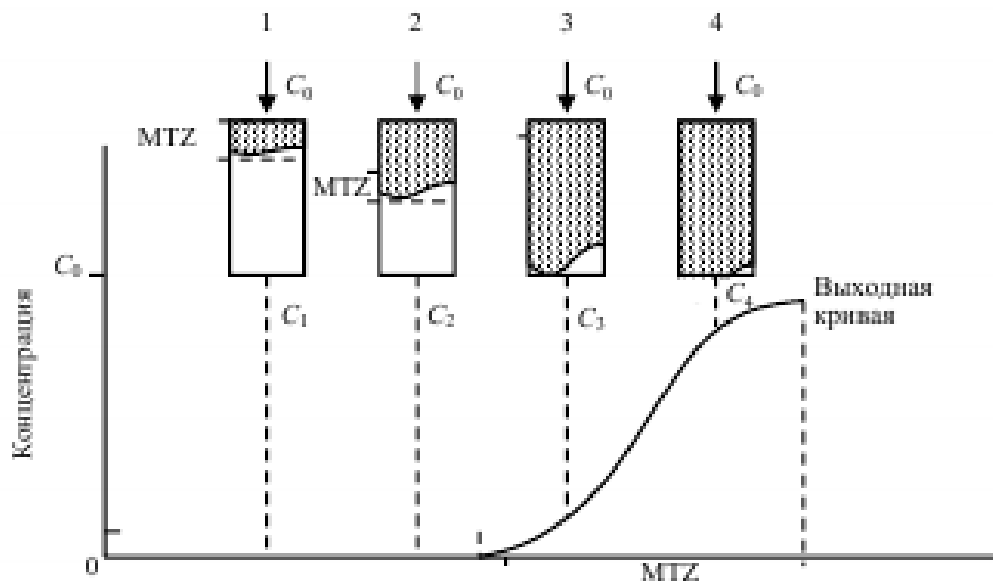
1.4. Адсорбция кинетикаси ва динамикасининг асосий тушунчалари

Газ аралашмаларидан турли компонентларни тозалаш, ажратиш ва қуюқлаш масалаларида адсорбциянинг моҳиятини қисқача кўриб чиқамиз. Бундай жараёнларнинг қонуниятлари [4,5] адабиётда етарлича тўлиқ тадқиқ этилади. Одатда адсорбция десорбция кинетикасига доначалар ва доначаларнинг юпқа қатламида содир бўладиган жараёнлар тааллуқлидир.

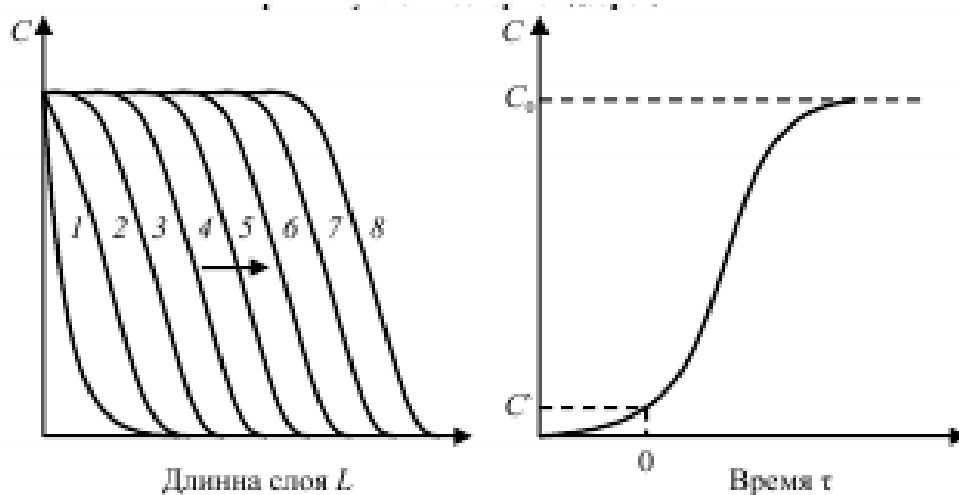
Адсорбция ва десорбция кинетикасига адсорбентнинг қуюқлашган градиентли доначалар қатламидаги жараёнлар киради. Адсорбция динамикаси назариясининг асосий вазифаси – адсорбер мосламаларни моделлаштириш ва ҳисоблаш. Адсорбция жараёни экзотермик, унга тескари жараён десорбция эндотермикдир.

Иссиқлик эффекти билан мураккаблаштирилмаган изотермик адсорбциянинг модел ҳолатини кўриб чиқамиз.

Юпқа қатламли адсорбентга хос бўлган адсорбция изотермаси қавариқ шаклга эга бўлсин (масалан Лангмюро типидagi изотерма). Узунлиги L бўлган адсорбент доначаси қатлами адсорбтив билан газ элтувчи аралашма пуфланади, қатловчи киришдаги адсорбтив қуюқлигини C_0 билан, газ солиштирма тезлигининг адсорбер кесими бирлигига нисбатан W билан белгилаймиз. Бу қийматлар тажриба жараёнида ўзгармас сақланади. Қўшимча имкон берамиз, адсорбентга адсорбент қуюқлиги тажриба бошида нолга тенг. Адсорбтив қуюқлиги ўзгариши $C(L, T)$ ва турли вақт маҳалларида қатлам узунлиги L бўлган адсорбланган ҳолатдаги $O(L, T)$ тартиб ўзгаришини кузатамиз. (расм 1.5)



1.5-расм



1.6-расм

Бундай шароитларни татқиқ қилиш шуни кўрсатадики, $F < F_0$ бўлган t вақтнинг бошланғич вақтида (F_0 - қандайдир характерли вақти) стационар бўлмаган тартибда L узунликдаги пешона қатламидатўйиниш содир бўлади. (1.5. расмдаги ҳолат) $T > T_0$ бўлганда $L > L_L$ узунликдаги қатламда 1.5 расмда кўрсатилганидек стационар тартиб ўрнатилади. Сорбция фронти деб номланувчи концентрация шакл ўзгариши қатлам ўзгариши юзага келади. Стационар тартибда бу фронт қатлам узунлиги бўйича $v = c_0 v t V(a_0 A)$ тезликда силжийди, бунда c_0 —кириш концентрацияси, a_0 — концентрация

мувоззанатидаги адсорбция мувоззанати адсорбция катталиги, A – адсорбентнинг сепма зичлиги. Бу босқичда сорбент қатламида учта характерли соҳани ажратиш мумкин: ишловчи қатлам соҳаси (1.3. расм) , бунда адсорбция фронти фронти ўчирилиб, адсорбтив концентрацияси C_0 дан $C=0$ гача пасаяди, адсорбцияси концентрацияси C_0 бўлган соҳани; ҳали жараёнда қатнашмаган соҳани.

1.5 ва 1.6 расмларда адсорбент адсорбент қатламида сорбция фронти силжиши босқичининг кетма – кетлиги кўрсатилган. Бу фронт қатлам охирига етган маҳалда (3 ва 4 вазият 1.5 расм ёки 1.6 расмдаги 7 ва 8 вазиятлар) газ оқимидаги адсорбтив концентрацияси қатламдан чиқишда $C=0$ дан C_0 гача ортади. T вақтга боғлиқ бўлган, қатламдан чиқишдаги адсорбтив концентрацияси ўзгариши графиги *чиқиш эгрилиги* дейилади.

C адсорбтивнинг берилган концентрацияси пайдо бўлганга қадар ўтган вақт, қатлам учун C гача сакраш вақти ёки берилган L қатламли адсорбентнинг берилган сакрашгача $T(c)$ *ҳимоя ҳаракат вақти* дейилади. Сакраш вақтигача ишлатилган адсорбцион ҳажм катталиги *динамик ҳажм* дейилади. Ҳимоя ҳаракатининг адсорбент қатлами узунлиги L га боғлиқлиги Н. А. Шилов тенгламасида ифодаланган: $T(C_u) = \pi - T_0$

Бунда $\kappa - \alpha_0 A / (c_0 w) = c r'$; U – адсорбция фронтининг стационар соҳада силжиш тезлиги; T_0 – параллел ҳимоя ҳаракатининг йўқолиш вақти;

Бу тенглама буюк рус физик ва кимёгар олими Н. Шилов лаборатория усулида биринчи марта протовогазни синаш вақтида аниқлаган Замоनावий ифодалашда T_0 параметр қуйидаги кўринишни олади:

$$T_0 = [\alpha_0 / C_0 P] / (C / C_0) .$$

натижада,
$$T_0 = [\alpha_0 A / (C_0 w)] / L - [\alpha_0 A / (C_0 P)] / (C / C_0)$$

ёки,
$$T_0 = [\alpha_0 A / (C_0 w)] (L - L^*)$$

бунда $Lfr = LQ = (w/P) / (C/C_0)$ – стационар ҳолат шаклланадиган соҳа узунлиги; (C/C_0) – қатлам орти концентрацияси сакраб ўтиш функциясининг қайд қилинган қиймати;

Узунлиги бўлган адсорбент қатлами элементида изотермик адсорбция микдорий мувоззанат тенгламасида муҳимроқ ечим келтирилган:

$$5(\alpha D)/5T + \partial C/\partial \tau + d(wc)/dL = 0 \quad |\partial C/\partial b \quad (1.2)$$

Бунда $\angle 3(\alpha D) < 3T$ – адсорбцион компоненти таркибининг қатлам ҳажми бирлигидаги ва вақт бирлигидаги ўзгариши; dO/ck – доналар орасидаги фазода адсорбтив концентрациянинг ўзгариши; $d(wc)/dL$ – қатлам узунлик бирлигидаги фронтдан ўтишда адсорбтив таркибининг ўзгариши; Тенгламанинг ўнг қисми бўйлама диффуза туфайли концентрация ўзгаришини сақлайди. Бу ерда D – бўйлама диффузия коэффиценти;

Ҳосил қилинган тенгламалар системаси умумий аналитик ечимга эга эмас ва сон кўринишда ечилади. Аналитик ечим идеаллаштирилган ва айрим хусусий ҳоллар усун олинган. Бўйлама диффузия диффузия эффекти жуда кичик бўлган шароитда, охириги ҳад “ноллашади”. $D \sim 0$, бундан ташқари, бази ҳолларда донада мувоззанат ўрнатиш тезлиги чексиз катта бўлиши рўй беради. Бундай соддалаштирилган шароитда қолган тенгламалар системаси иккита ечимга эга:

$$H = w/[1 + \alpha_o A/C_o]. \quad (1.3)$$

$$\angle f = w/[1 + \alpha D/Q]. \quad (1.4)$$

(1.3) ечим *Вильсон менгламаси* дейилади. Бу адсорбтив концентрацияси C_o дан 0 гача сакрашнамо ўзгарганда “узалма” фронт ҳаракати гипотетик ҳолатига мос келади. Бунда αD – концентрацияси C_o бўлган, ҳажм бирлигидаги мувоззанатли адсорбция катталигидир. (1.4) ҳақиқийроқ ечими *Зельдович – Викке қонуни* дейилади.

Бу тенгламадаги $(XC) = \angle 3(\alpha D)/(\angle 3C_o)$ - C концентрацияли адсорбция изотермасининг хоссасидир.

Адсорбция турли хил изотермалари учун (1.4) ечимнинг моҳиятини кўриб чиқамиз.

1.4. Сорбция динамикасига адсорбция изотермалари шакллари таъсири

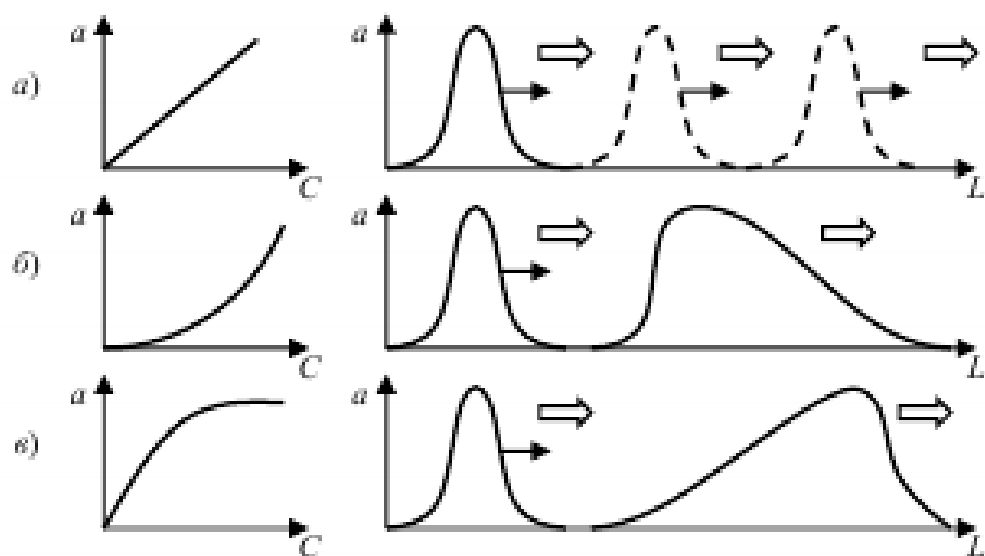
Адсорбциянинг каварик изотермаси – кўп тарқалган ва амалий моҳиятга эга ҳодисадир. Адсорбция фронтининг иккита C ва C_i нуқтасининг ҳаракатини кўриб чиқамиз, бунда $C_i > C$ (1.7.б. расм)

Адсорбция изотермасининг ҳосиласи $f(C) > f(C_i)$, Шу сабабли C_i – концентрацияли нуқта C - концентрацияли нуқтага нисбатан тезроқ ҳаракатланиши керак. Лекин C_i концентрацияда қатлам тўйиниши учун $C_i < C$ концентрациядан тўйинишга эришиш керак. Натижада фронт қатламбўйлаб имкон даражасида ҳаракатланиши кескинроқ бўлиши керак. Бундай фронт Вильсон тенгламаси билан аниқланувчи барча нуқталари доимий тезликда ҳаракатлаувчи узлукли фронтга имкон даражасида айланиб боради. Лекин бу ечимлар фронт ювилиб кетиши ҳисобга олинмаган реакторда идеал сиқиб чиқариш натижасида пайдо бўладиган модели вазиятга тааллуқли. Амалиётда адсорбциянинг натижавий тезлиги, шунингдек қатламнинг бир жинсли эмаслиги шубҳасиз адсорбцион фронтнинг ювилиб кетишига олиб келади. Бу ҳолда адсорбция кинетикаси куйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$-b| < |T = P_{out}(c - c^*). \quad (1.5)$$

ёки

$$u? \alpha | u? = P_{in}(\alpha - \alpha^*). \quad (1.6)$$



1.7. расм. Адсорбция изотермасининг характерли кўриниши а-чизикли;
б-ботик; в-қаварик;

(1.5) тенглама ташқи диффузия лимитланадиган шароитга мос келади,
 (1.6) тенглама ички диффузия лимитланадиган ҳолатга мос. Бу тенгламалардаги P_{out} ва P_{in} – ташқи ва ички масса алмашилиш коэффициентлари; c – донадан ташқари оқим концентрацияси; c^* - донда хажмидаги адсорбция мувоззанати катталигининг ташқи сиртдаги концентрацияси; α^* - C оқимдаги мувоззанатланган концентрациядаги адсорбция катталиги; α – адсорбция катталигининг аввалги қиймати; Қаварик изотермадаги адсорбция ювилишининг йиғинди эффекти Тодес – Боксон тенгламаси билан ифодаланади:

$$1/P = 1/P_{out} + 1/P_{in} + D^*/w^2. \quad (1.7)$$

Бунда P – ташқи P_{out} > ички (P_{in}) ва бўйлама (D^*/w^2) диффузияга ҳисса қўшувчи масса алмашинувининг йиғинди коэффициенти;

Бу тенгламага мувофиқ, йиғинди диффузион қаршилик электр занжирлари учун Кирн – Гофф қонунидек қаршиликлар йиғиндисига тенг.

Натижада адсорбциянинг қаварик изотермада адсорбцион фронт концентрация нуқталарининг ҳолати нуқталарининг ҳолати бир - бирига қарши ички фактор билан аниқланади: ювилиш фактори ва сиқилиш реактори қатламга киришдан қандайдир масофада ($L-L^*$ масофада) бу факторлар ўзаро компенсацияланади ва фронтнинг параллел стационар тартиби ўрнатилади. қатлам қолипчилиги $L < L^*$ ностационар тартибга мос келади ёки ишловчи қатлам ZQ нинг шаклланиш соҳасига мос келади. Одатда $LQ - L^*/L$. Бу гипотеза дастлаб Я. Зельдович томонидан таклиф этилган ва кейинчалик О.Тодес томонидан ривожлантирилган.

Стационар фронтнинг силжиш тезлиги $U, \alpha A$ шартни ҳисобга олган ҳолда Вильсон тенгламаси билан аниқланади.

Адсорбцион фронт силжишининг бошқа IIA шаклдаги моҳиятини, импульс газограматик тартибда адсорбент қатламига киритилган адсорбтив порциясининг ҳаракати мисолида кўриб чиқиш қулайдир. (1.7 расм)

Проекцияси дастлабки дастлабки ҳолати учбурчак шаклида бўлган адсорбент қатлами орқали импульс (порция) ҳаракатланаётган бўлсин. Изотермик тартиб билан чекланамиз.

Юқорида кўрсатилгандек адсорбциянинг кавариқ изотермасида фронтнинг пешона қисми қисқарувчи ва ювиш факторлари таъсири остида бўлади. Натижада $L < L^*$ қатламузунлигида ўзгармас тезликда силжувчи тартиб танланади. Лекин фронтнинг тугалланиш қисмида изотерма шакли омили ювилишни кучайтиради ва шу сабабли паст концентрацияли фронт нуқталари юқори концентрацияли фронт нуқталаридан ортда қолиши керак. Бўйлама ювилиш омиллари шартларига, масалан, десорбциянинг натижавий тезлиги, ювилишни қўшимча кучайтиради. Натижада имкон даражасида фронтнинг ҳаракатланиши унинг якунловчи қисмини прогрессив ювади. Шу эффекти туфайли кавариқ изотермали аналитик хромографикда қўллаш ноқулай. Қавариқ ИА да фронтнинг якунловчи қисмининг интенсив равишда ювилиши, тозалиги ва ажратишнинг циклик адсорбцион – десорбцион жараёнларни изотермик тартибдаги десорбцияни ўтказишни қийинлаштиради. Хусусан, бу кераксиз эффект сиқиб чиқариш десорбцияси режимида бартараф этилиши мумкин. Бу эффект қатлам бўйича $C/d > C/I$ тезлик билан ҳаракатни таъминловчи қўшимча қўшимча етарлича катта концентрацияли адсорбланувчи компонент 2 ни киритиш йўли билан амалга оширилади. Бу мақсадли компонентларни сиқиб чиқаришга олиб келади, ва рақобатчи йўқлигида C/I тезлик билан характерланади. Натижада, мақсадли компонент десорбция соҳаси компонент фронтлари 1 ва 2 орасида қатлам қисмлари билан мажбуран чекланади.

Ювилиш эффекти билан курашишнинг бошқа усули – қарши оқим тартибида десорбция ўтказиш яъни адсорбция ва десорбция ўтказиш.

Чизиқли ИА да адсорбция фронтининг сиқилишига кўмаклашувчи эффектлар иштирок этмайди.

Диффузион ювиш адсорбцион фронтнинг ишлаш ва тугалловчи қисмларнинг симметрик кенгайишига олиб келади. У тахминан $T^{0.5}$ га

пропорционал бўлади. Ботик ИА да адсорбцион фронтнинг хулқиға тескарисидир. Бундай ҳодисада фронт пешона қисмининг ошиб борувчи ювиши кескин тугалловчи фронт билан мос тушади.

Адсорбция ва десорбция ўзгарувчан босқичда ўтказилаётган адсорбент қатламининг даврий ишлари учун идеал шароит – адсорбцияда қаварик изотерма ва десорбцияда – ботик ҳолатдир. Амалиётда бундай вазият десорбцияда температуранинг ошиши программаланган режимда амалга оширилиши мумкин.

1.5.Ноизотермик адсорбция динамикаси

Адсорбциянинг ҳақиқий жараёни адсорбция иссиқлиги ажралиши шароитида юз беради. Иссиқлик эффектини ҳисобга олиш учун моддий мувоззанат тенгламасига иссиқлик мувоззанати тенгламасини қуйидаги кўринишда қўшиш керак:

$$(1.9) \quad h_a(dT/dt) + (h^*dT_g/dt) + nVh_g(dT/dL) = dQ_a(a)/dt$$

Бунда h_a, h_g, T_a, T_g – мос равишда газ ва адсорбентнинг иссиқлик сифими ва температураси, $Q_a(a)$ – адсорбциянинг иссиқлик эффекти; адсорбент ва газ орасидаги иссиқлик алмашинувчи ҳисобга олинган тенглама содда ҳолда қуйидаги кўринишни эгаллайди:

$$h_a dT/dt = K_g((T_a - T_g) + c\Delta T_a)/5T \quad (1.10)$$

бунда K_g – иссиқлик ;

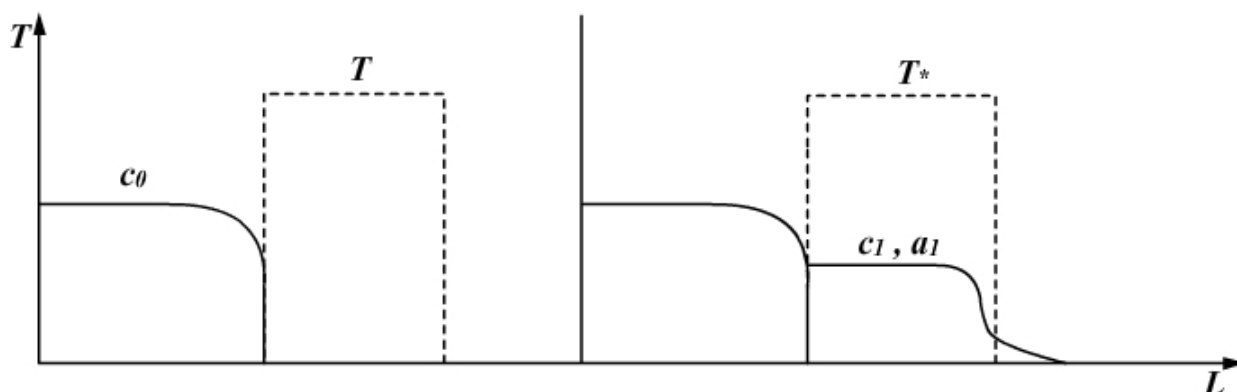
$T_a = T_g$ бўлган содда ҳолат билан чекланамиз, яъни адсорбент ва газ орасидаги иссиқлик мувоззанати етарлича тез ўрнатилади, лекин адсорбент қатламида адсорбция fronti ва улар ҳосил қиладиган иссиқлик тўлқини тарқатилади. Бундай шароитда иссиқлик fronti қуйидаги тезликда ҳаракатланади:

$$U_T = Wh_g/H$$

Бунда $H = h_g J + h_a(1 - e)$ – газ ва адсорбентнинг ҳажмий йиғинди иссиқлик сифими, e – адсорбент қатламининг ғовақлиги; Бу ерда иккита чекка режимни ажратиш мумкин [4] . Дастлабки иссиқлик тўлқини тезлиги $U_T \gg U_C$ бўлган оддий вазиятни кўриб чиқамиз. Бунда U_C – адсорбция фронтининг ҳаракат

тезлиги; бу ҳолатда барча иссиқлик ўтаётган газ оқимиға ажратилади ва адсорбция амалда “совуқ” адсорбент изотермаси шароитида ўтади. Бундай чегаравий ҳодисада иссиқлик эффекти адсорбция динамикасиға таъсир қилмайди. Температуралар тақсимоти ва қатлам узунлигидаги концентрация схемаси 1.8,а расмда кўрсатилган. Иссиқлик тўлкинининг ядросидаги максимал температура $T_{\max}$ куйидаги билан ифодаланади:

$$T_{v_{WL}} = [Qa_w/H][U_c/(U_T - U_c)]$$



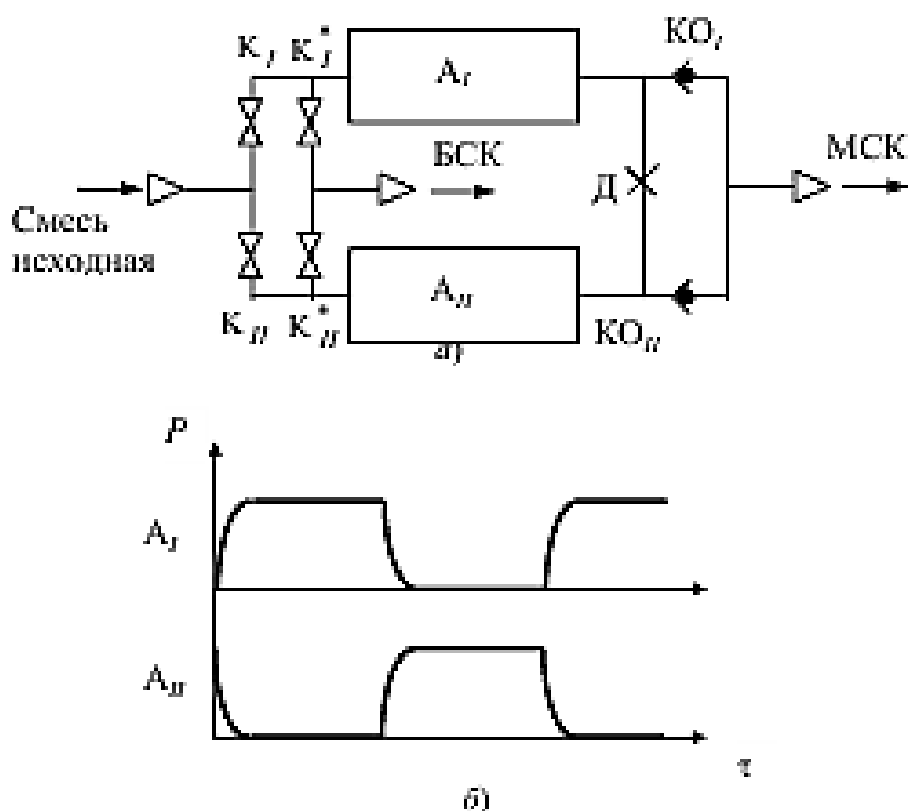
1.8 расм. Иссиқлик ва адсорбцион фронтнинг силжиш схемаси.

Бошқа чегаравий ҳолатда иссиқлик тўлкини тезлиги $U_T < U_C$. Иссиқлик кетиб улгурмайди ва адсорбция қиздирилган адсорбентда содир бўлади, бу эса адсорбцион соҳада адсорбцион ҳажмни пасайтиради. Аммо ишлаб бўлган адсорбент соҳасининг кейинги совутилиши қўшимча адсорбцияға олиб келади. Охир натижада бу ҳодисада адсорбент қатлами бўйлаб иккита адсорбцион фронт тарқалади.(расм 1.8.б)

$U_T \gg U_C$ да кенгаётган иссиқлик тўлкини сорбция fronti олдида ҳаракатланади, адсорбцион жараёнда узлуксиз иссиқлик пайдо бўлганлиги ундан ажрала олмайди. $U_T < U_C$ бўлганда аста секин кенгаётган иссиқлик тўлкини биринчи иссиқлик fronti билан U_C тезликда биргаликда ҳаракатланади. Совуқ соҳада эса иккинчи адсорбцион фронт ҳаракатланиб адсорбатнинг қўшимча ютилишиға олиб келади. Идеалланган ҳолда бу “ютилиш” $a_0 - a$ фарққа мос келади. Бунда адсорбциянинг солиштирма қиймати a_0 ва λ , $T = T^*$ температура тажрибасидаги концентрация мувоззанати Q ва C_c га мос келади.

1.6. Газ аралашмаларини ажратишнинг қиздирилмайдиган адсорбция жараёнларини ташкил этишнинг қисқача тавсифи

Газларни тозалаш ва ажратишнинг қиздирилмайдиган адсорбцион жараёни асосида уларнинг амалга оширилиши мураккаб бўлишига қарамай америкалик С.Карстромнинг 1660 - йил таклиф этилган схемасида ётади. 1.9 расмда С. Карстром қурилмасининг ишлаш принципи қуйидагига асосланган.



1.9 расм. а) Принципиал технологик схема; б) С.Карстром усули бўйича газ аралашмаларини ажратиш қурилмасининг иш циклограммаси;

Дастлабки сиқилган аралашма K_1, K_2 клапанлар ёрдамида коллекторга киритилади. Вақт моментида K_1, K_2^* , KO_1 Коллекторлар очик, K_2, K_2^*, KO_2 клапанлар ёпиқ. Дастлабки аралашма K_1 клапан орқали адсорб A_1 га келади. У дастлабки газ аралашмасининг бир (бир неча) компонентасини саралаб ютадиган адсорбент билан тўлдирилган бўлади. Тескари клапан орқали KO_2 жамроқ сорбцияланадиган компонента билан қуюқлаштирилган аралашма чиқади (МСК). МСК билан тўйинтирилган аралашма D дросселда

атмосфера босимигача дросселланади ва адсорберга қарши оқимга чиқарилади.

Кўпроқ сорбцияланган компонент билан бойитилган адсорбент(БСК) адсорбент билан МСК аралашмасининг ўзаро таъсири адсорбциянинг кейинги босқичида БСК десорбциясига ва адсорбент регенерациясига олиб келади. К4 клапан орқали БСК аралашмаси га чиқариб юборилади. Клапанлар алмашинуви тенг вақтлар оралиқлари $T_{\text{пи}}$ да амалга оширилади.

1.9 б расмдан кўринадики адсорбцион усулда газ аралашмаларининг ажралиши тўрт босқични ўз ичига олади: МСК билан тўйинтирилган газ аралашмасини пуфлаш; адсорбентнинг қарши оқимли регенерацияси; пуфлашдан сўнг босим тушиши; регенерациядан сўнг босим йиғиш;

Хавонинг 20°C да водород ва азотга ажралиш мисолида КБА (PSA) усулининг мазмунини кўриб чиқамиз, 1.10 расм [7].

Қурилма ўз ичига иккита адсорбентни, автоматик клапан К ни, дроссел D ни ва иккита қайтар клапанни ўз ичига олади. Қайтар клапан газ оқимини бир йўналишда ўтказди.

20°C да ҳатто микроғовакли адсорбентларда кислород ва азот жуда кам адсорбланишини эслатиб ўтамиз. Яқин вақтларгача бундай шароитларда сорбцияланмайдиган деб ҳисобланган. Кўпчилик цеолитлар 20°C да ва атмосфера босимида бир неча $\text{нсм}^3/\text{гр}$ азотни ва кам миқдорда водородни сорбциялайди. Бу ҳолатда азот ва водород адсорбцияланишидаги фарқ куйидагича изоҳланади. Азот адсорбциясида одатий дисперсион ўзаро таъсирдан ташқари, азот квадруноли билан цеолит панжарали катионлари ўзаро таъсирлари ҳиссаси пайдо бўлади. Микроғовакли углеродли схемалардаги ҳаво адсорбциясида тесқари ҳолат кузатилади – қисқа вақт

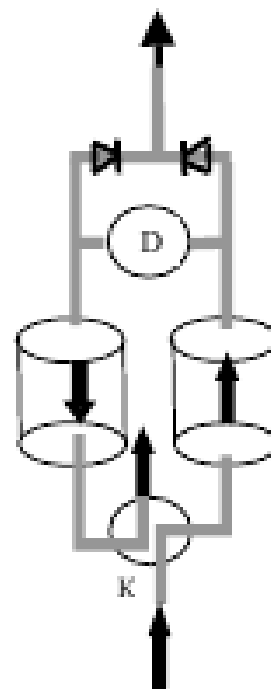


Рис. 1.10. Схема адсорбционной установки, работающей в режиме КБА

алоқа водород азотга нисбатан яхшироқ адсорбцияланади. Бу шундай кинетик эффект билан тушунтириладики, водород молекулалари ўлчамлари (0,39...0,28нм) бўлиб, азот молекулалари (0,41...0,30нм) дан кичикроқдир.

Адсорберлар цеолит СаА билан тўлдирилган бўлсин (1.5 расмга қаранг). Ҳаво юқори босим (3...8 атм) да расмда кўрсатилгандек адсорбция режими ҳолатидаги ўнг адсорберга юборилади. Азот устунлигидаги адсорбция устунлиги юзага келади ва адсорбция режими ҳолатидаги ўнг адсорберга юборилади. Азот устунлигидаги адсорбция юзага келади ва қатламдан чиқаётган оқим водород билан тўйинади (50...70% гача).

Водород билан тўйинтирилган хавонинг бир қисми D дросселдан ўтказилади, бунда босим 1 атм гача пасаяди ва чап адсорбернинг регенерацияси учун ишлатилади. Регенерация(тиклаш) $P_d < P_n$ босимда кўшимча иссиқлик келтирилган қарши оқим билан ўтказилади. Азот билан тўйинтирилган ажралаётган десорбент, одатда бундай схемада қўлланилмайди. Адсорберларни автоматик клапан ёрдамида алмашиб улаш, адсорбциянинг ўнг адсорбери ва чап адсорберини десорбция режимига ўтказилади.

PSA жараёнининг TSA жараёндан асосий устунлиги – катта вақт ва энергия талаб қилувчи, адсорберни қизитиш ва совутиш босқичини четлаб ўтишидадир. Адсорберда босимни ошириш ва пасайтириш босқичи тезда амалга оширилади. Бу эса циклнинг йиғинди давомийлигини кескин камайтиради. Адсорбердаги адсорбент миқдори m қуйидагича топилади:

$$m = Wxja_2$$

бунда W - ютулаётган компонент унумдорлиги; ($кг/мин$), a – динамик активлик; Ta – қисқа вақт оралиғи;

Шу сабабли PSA нинг муҳим фарқли жиҳати циклнинг кичик давомийлигидир. Типик вазиятларда тўлиқ циклнинг кичик давомийлигидир. Типик вақтларда тўлиқ циклнинг давомийлиги бир неча минут.

Адсорбер PSA ҳолатида кўп босқичли ишининг содда цикли тўрт босқичдан иборат:

а) қатламга киришдаги адсорбланувчи компонент порционал босим P_a даги аралаш адсорбция;

б) десорбция боришини P_g гача пасайтириш;

в) $P_2 < P_a$ босимда адсорбентнинг қиздиришсиз регенерацияси;

г) кейинги босқични амалга ошириш учун P_2 дан P_a гача ошириш; адсорберлар сони ва уларнинг иш фазаларини мураккаблаштириб PSA ишини оптималлаш, газ аралашмаларининг тўлиқ аралашшига олиб келиш мумкин. Система ишининг тўлиқ стационар тартибида бошланғич ва маҳсулий газлар оқими таъминланади.

Динамик фаоллик микдори a_D ни адсорбция кинетикаси ва изотермаси аниқлайди. Скарстром типдаги оддий жараённинг ажралиш самарадорлиги куйидагича:

$$\zeta = C_k / C_0 - (k-1) \exp(-De - \exp H; \cdot)], \quad (1.11)$$

бунда C_0 ва C_k – бошланғич ва охирги концентрациялар;

- Десорбция ва адсорбцияда оқим чизиқли тезлиги нисбати:

$\check{Z} = (n/8)^{1/2} [(k-1)/L, \quad \% = [DT/i]^{1/2} (A/V)]$ – қатламнинг ажратувчи хоссаларини характерловчи параметр.

L – қатлам узунлиги; D – донадаги диффузиянинг маҳсулдорлик коэффиценти; Γ – Генри ўзгармаси; A ва V – мос равишда солиштирма сирт ва адсорбент ҳажми;

1.5 расмда келтирилган бир босқичли схема тўлиқ ажралишга эмас, бойитишга олиб келади. Лекин икки иёки уч босқичли схемалар варианты 99,99% тозаликдаги водород (ёки азот) олишга имкон беради. Ҳозирги пайтда АҚШда 30% дан кўп тоза азот ёки водород шу усулда олинади. Дунё бўйича бундай қурилмалардан мингдан ортиғи фаолият кўрсатмоқда.

Бу принципиал водород олишда, ҳавонинг қурилишида, CO , CO_a , CEC , He , Ar , NO , n – алконларни ажратишда қўлланилади.

Газ ажратувчи адсорбцион қурилмаларнинг турли хоссалари мавжуд. Улар қиздирилмайдиган адсорбцион жараённинг тўрт босқичини ўтказиш

тартиби турли хиллиги билан фарқланади. Пуфлаш жараёни юқори босим (0,1...1,1 МПа) босим билан аниқланади.

МСК тоза бўлакчасини олиш имкониятини таъминлаш учун регенерация адсорбентни натижавий аралашма билан флегматик “суғорилади”. Юқорида кўрсатилган пуфлаш ва регенерация босқичларини ташкил этишни қиздирилмас жараённинг 7 хили аниқлайди.

(1.1 жадвал)

PSA ни ташкил қилиш усуллари

-	Босим	
Регенерация босими	Пуфлашнинг мавжудлиги	
	пуфлаш	
I	Ортиқча	
Ҳа II	Ортиқча	
Вакуум	Йўқ III	Ортиқча
Вакуум	Ҳа IV	Ортиқча
Атмосфера	Йўқ V	

Регенерациянинг атмосфера босимли босим типли қурилма кўпроқ оммалашган. Бу қурилма типи газларни майин тозалашда, шунингдек газ аралашмаларини юқори даражада ажратишда ишлатилади.

Берилган хилдаги қурилмаларда пуфлашдаги ортиқча босим газ аралашмаларини истеъмолчиларга етказиб беришда қўшимча қурилмалар талаб қилмайди. III ва IV типдаги жараёнларнинг характерли хоссаси шуки, адсорбент регенерациясида ҳосилавий аралашманинг кам сарфланишидир. Пуфланиш аралашмасининг сарф миқдори регенерация ва пуфлаш босқичида босимлар нисбатига боғлиқ. Десорбция босқичида адсорбентни пуфлашнинг бутунлай иштирок этмаслиги IV, VII типдаги жараёнларга хосдир. Бу эса уларнинг газ аралашмаларини чуқур бўлмаган ажратишда қўллаш имконини

беради. Паст даражадаги ажратиш II типдаги жараён учун хос, дағал тозалаш учун V тип ишлатилади.

Қиздиришсиз адсорбциядаги газ аралашмаларини ажратиш жараёнида босим ортиши ва тушишининг ўтиш жараёнининг кечиши характерлидир. Берилган босқичлар турли усуллар билан амалга оширилиши мумкин. Тўғри оқимли, қарши оқимли адсорберда босимни ошириш усуллари фарқланади. Тўғри оқимли босим тўплаш адсорберга бошланғич аралашмани юбориш орқали бажарилади. Босимни тўғри қарши оқимли кўтариш ҳодисасида маҳсулий аралашманинг қандайдир қийматигача оширилади, сўнг бошланғич аралашма бериш йўли билан босим юқори қийматгача етказилади.

Қарши оқимли босимни тушириш адсорберни тўлдирилган газни атмосферага чиқариш билан амалга оширилади. Вакуум типдаги жараёнларда босим тушиши регенерация билан мос келади. Бу жараёнларда (III,IV,VI,VII) адсорбердаги аралашма дастлаб атмосферага чиқарилади, сўнг вакуум-насосда сўриб олинади, бунда тушиш ва регенерация босқичлари мослиги юз беради. Босимни кўтариш-тушириш усуллариининг мумкун бўлган турли типли жараёнларга қўлланиладиган комбинацияларини келтирамиз.(1.2 жадвал)

Амалиётда жараён хили қўлланилиши билан аниқланади. Босимни кўтариш усуллариини танлаш оптималлаш фикри билан аниқланади, бу эса босим тушиши усулини аниқлайди.

1.2-жадвал

Адсорберларда босимни ошириш –тушириш усуллари.

Босимни ошириш типлари	Босимни тушириш
Тўғри оқимли	Қарши оқимли
I,II Қарши оқимли	Қарши оқимли
I Тўғри қарши оқимли	Тўғри қарши оқимли
I Тўғри оқимли	Регенерацияли қарши оқимли

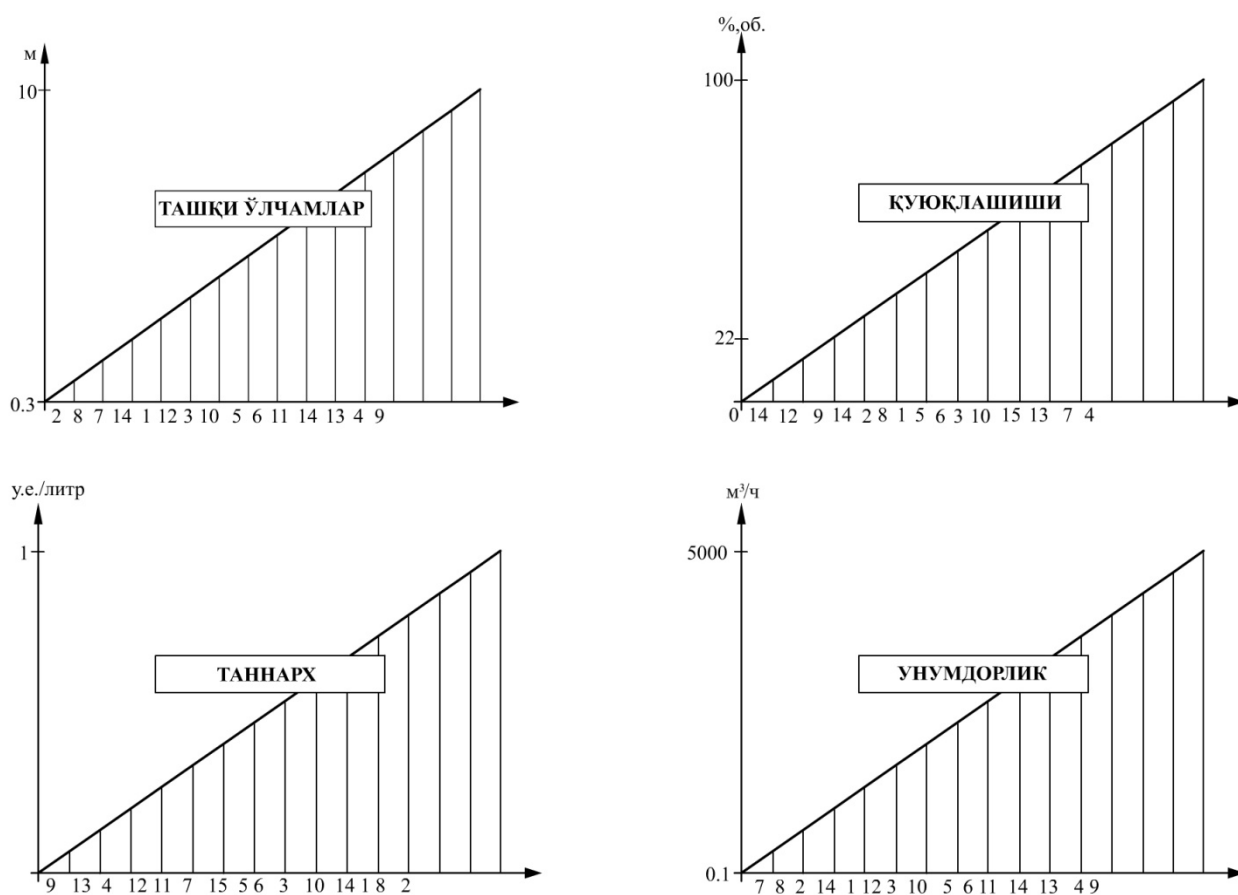


Рис. 1.11- расм. PSA қўлланилиш соҳаларининг шартли таққослаш тавсифи

1.3-жадвал

PSA технологияси қўлланиладиган соҳалар

№	PSA қўлланиладиган соҳалар	Истеъмол маҳсулотлари		
		Водород	Азот	Бошқалар
1.	Ҳаётий фаолият системалари	*		
2.	Авиация ва космонавтика	*	*	*
3.	Оқова сувлврни тозалаш	*		
4.	Кимё ва нефт кимёси	*	*	*
5.	Фармацевтика	*		
6.	Қоғоз,цемент, пиво ишлаб чиқариш	*		
4.	Пайвандлаш ва металлارни	*		

	қирқиш			
8.	Тиббиёт	*		
9.	Пўлат эритиш саноати	*		
10.	Қаттиқ чиқиндиларни ёндириш	*		*
11.	Балиқ қидириш	*		*
12.	Электроника			*
13.	Энергетика			*
14.	Ҳимоя муҳити яратиш			*
15.	Қуритиш			*

PSA қурилмаларининг кенг қўламда қўлланиши улар тавсифининг сезиларли ошганлиги ва уларга қўйиладиган талаблар ангиқлайди.

1.11 расмда қурилмалар қўлланиладиган соҳалар бўйича уларгас қўйиладиган талаблар келтирилган. Қўлланиш соҳасига қараб аниқловчи факторлар ҳам турлича. Саноат қурилмалари учун ажралиш маҳсулотининг таннархи асосий кўрсаткич ҳисобланади. У қолган тавсифларни шакллантиради. Авиация ва космонавтикада қўлланувчи системалар юқори ишонч талабларига жавоб берувчиЭ, маҳсулот ажралиши таннархининг юқори характерлилигидир.

Бир қатор тенденциялар ўринли: унумдорликли сақлашда ташқи ўлчамларни камайтириш, одатда, таннарх ўсишига олиб келади; ташқи ўлчамларни сақлаб унумдорликни орттиришда, мақсадли маҳсулотнинг концентрацияси камайиши ва таннарх тушишига олиб келади.

Бир қанча газ ажраткич қурилмаларини кўриб чиқамиз. 1.12 расмда ҳаво аралашмасидан бир ёўла водород ва азот олиш қурилмасининг принципиал схемаси келтирилган.

Бу қурилма “Air Products and Chemical” фирмаси томонидан ишлаб чиқилган ва патентланган. Асосий қурилма элементлари икк и жуфт адсорберлар бўлиб, улардан ҳар бири CO₂ дан ҳавони тозалаш ва қуритиш

учун ёрдамчи адсорберни ўз ичига олади. Иккала адсорбер цеолит билан тўлдирилган.(NaM ва NaX)

Адсорбция босқичида 0.1-0.12 МПа босимда ҳаво пуфлагич 5 томонидан берилаётган ҳаво икки адсорбердан кетма-кет ўтади, водород билан бойитилади ва газлардан 6 га келиб тушади. Берилган операция маҳсулий газдаги азот концентрацияси максимал даражага етганда давом этади. Шундан сўнг ишлатилган адсорберлар тўғри оқимли азот билан пуфланади.

Таркиби бўйича ҳавога яқин ҳосил бўладиган пуфладиган газ 8 газгольдер орқали ҳаво пуфлагич 5 нинг сўриш чизиғига келтирилади. Пуфлаш босқичи тугашида кўрилаётган адсорберлар 9 насос ёрдамида вакуумланади. Олинаётган маҳсулий азот газгольдер 7 га йиғилади. Вакуумланиш икки этапда амалга оширилади: биринчи этапда бир вақтнинг ўзида қолдиқ босим берилган қийматга эришгунча иккала адсорбер вакуумланади, иккинчи этапда ёрдамчи адсорбер ундан адсорбланган қолдиқнинг тўлиқ ажратиш мақсадида вакуумланади. Ёрдамчи адсорбер кўшимча вакуумланишга учраган пайтда, асосий ҳаво ажратгич адсорберда 6 газгольдердан маҳсулий водород қисмининг ҳисобига босим ҳосил қилади. Кейинчалик бу операция ёрдамчи адсорберга тарқалади. Адсорберда босим йиғилиши тугаши билан, улар янги адсорбцион цикл ўтказилишига тайёёр бўлади. Унинг давомийлиги 280с ни ташкил қилади. Берилган жараён концентрациясидан 95% водород ва консентрацияси 96...99 % бўлган азот пуфланади.

Водород амалда сув ва CO₂ аралашмани сақламайди. Азотда сув ва CO₂ аралашмаси консентрациялари мос равишда 3,5% ва 0.05% миқдорда бўлади. Азот маҳсус қуритувчи бўлакда кўшимча қуритишга учрайди. Улар таркибига иккита термик регенерацияланган адсорбер 10.11 киради. Азот 0,5...1 МПа босимда 7 газгольдердан қуритишга компрессор 12 ёрдамида берилади.

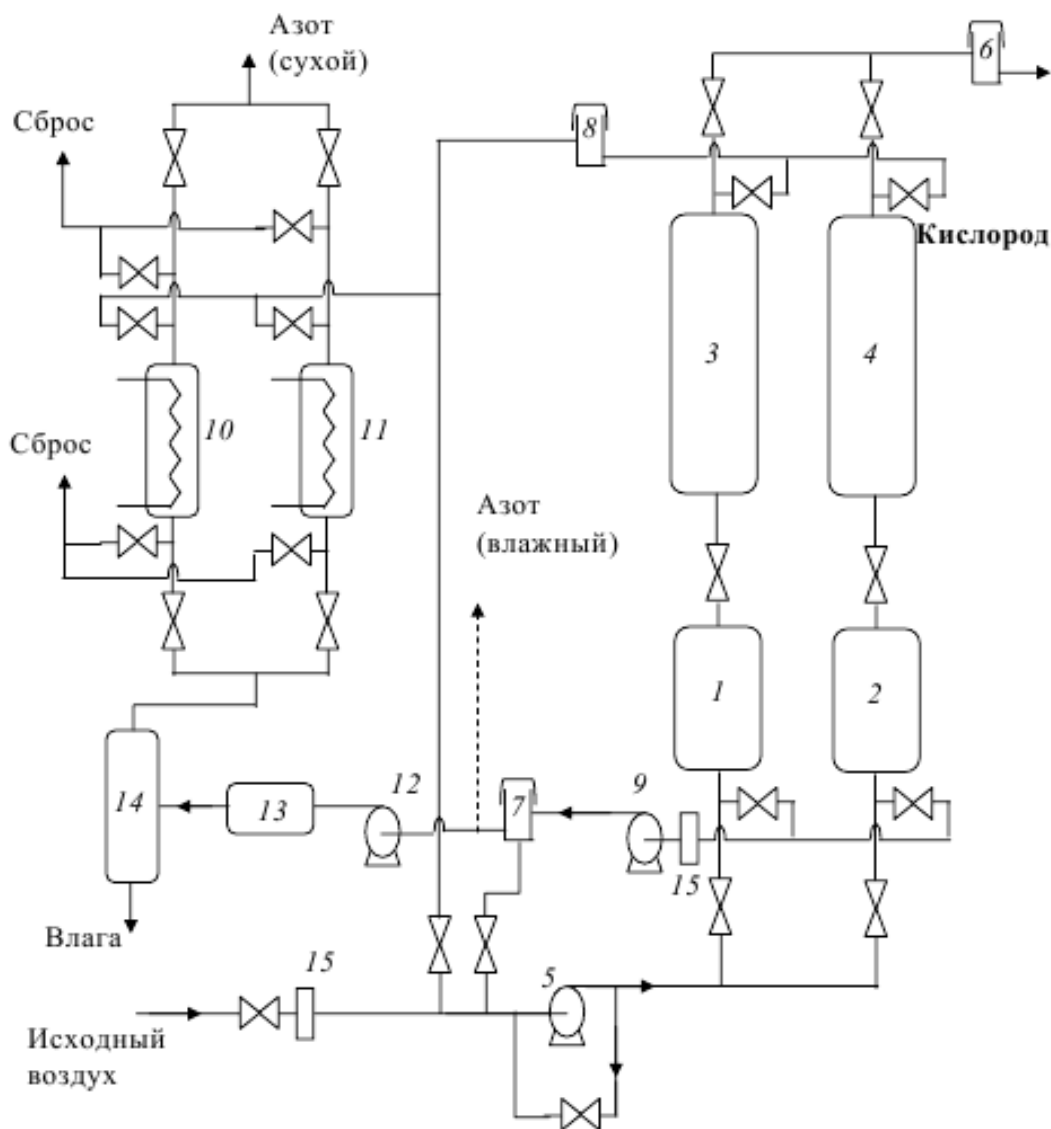
Махсулий компоненталар концентрациясининг максимал (водород 95%, азот 99,9%) қийматларида уларнинг ҳаводан ажралиши кўрилатган жараёнда 50% ни ташкил қилади. Қуйроқ бўлган концентрацияларда компонентларнинг ажралиш даражаси юқори.шунингдек килород ва азот концентрациялари орасидаги ва қурилма унумдорлиги орасидаги боғлиқлик шунга ўхшаш характерга эга. Водороднинг концентрацияси 90% дан 80% гача камайгандам унинг сарфи 25% га ортади. Азот истеъмолининг йўқлигида қурилма водородни пуфлаш режимида ишлаши мумкин. Бундай ҳолатда технологик жараён соддалашади.

Берилган қурилма босимсиз-вакуум типига мансубдир. Шунингдек бир пайтнинг ўзида водород ва азот олишга мўлжалланган босимли-вакуум [7] схемасида ишлайдиган қурилма мавжуд.

Юқорида тавсифланган қурилма анча мураккабдир. Соддалик нуқтаи назардан ташкилотлар “Marathon Medical Equipten Corp” [7] фирмасининг бир адсорберли водород концентрацияси схемасига алоҳида қизиқиш билан қарайдилар. Қурилманинг технологик принципиал схемаси 1.13 расмда кўрсатилган.

[18] тавсифига асосан, қурилманинг ҳаракат жараёни қуйидагича: атмосфера ҳавоси механик фильтр 3, шовқин ютгич 4 ва I вазиятда бўлган (узлуксиз чизик) газтақсимлагич қурилма 5, орқали 2 газ насоснинг сўрувчи газ қувурига келади. Оқимдан мой аралашмасини йўқотиш учун ҳаво ва газ тақсимловчи қурилма 5 га ўтади ва босим остида цеолит билан тўлдирилган адсорбер 65га юборилади. Адсорбердан водород билан бойитилган оқим 8 қайтиш клапани орқали ресивер 11га боради , ундан босим регулятори 13, расходомер 14 ва фильтр 15 орқали водород истеъмолига ажратилади. Адсорбцион жараённинг циклилогия ресивер 11 дан босимнинг эффектив бошқарилиши йўли билан амалга оширилади. Пуфлаш босқичида водород билан бойитилган ҳаво ресивер 11га тушганда, ундаги босим секин ортади. Ресивердаги босимнинг берилган қийматгача ($P=0.2\text{МПа}$) газ тақсимлагич қурилма 5 бошқарув блоки 7 босим датчиги 12 билан боғлиқликда II вазиятга

ўтади (узлуксиз чизик). Бу ҳолда насос 2 нинг иш жараёнида регенерация газини кетма-кет шовқин ютгич 4 ва фильтр 3 орқали ҳавога чиқарилиб адсорбер 6 сўриб олинади. Бир вақтнинг ўзида ресивер 11 да сақланаётган водород билан тўйинтирилган ҳаво истеъмолига ажратилади ва унда босим пасаяди.



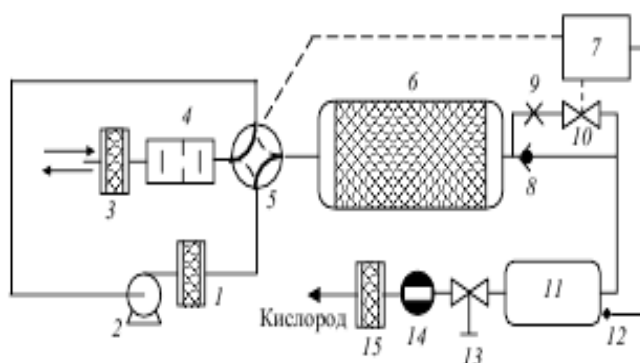
1.13 расм. Бир адсорберли водород концентраторининг технологик схемаси

1-кўмирли фильтр; 2-газ насос; 3- механик фильтр; 4-шовқин ютгич; 5-газ тақсимловчи қурилма; 6-адсорбер; 7-бошқарув блоки; 8-қайтиш клапани; 9-дроссель; 10-клапан; 11-ресивер; 12-босим датчиги; 13- босим регулятори; 14-раходомер; 15-бактерицид фильтр;

Босимнинг 0,14 МПа гача камайишида 7 қурилма ёрдамида 10 клапан очилади ва ресивер 11 да сақланаётган водород билан тўйинтирилган ҳаво истеъмолчига ажратилади ва унда босим пасаяди. Босимнинг 0,14МПа гача камайишида 7 қурилма ёрдамида 10 клапан очилади ва ресивер 11 дан миқдори 9 диафрагма билан аниқланувчи водородга бойитилган газ пуфлаш учун адсорбер 6 га келади ва регенерацион жараёнинг охириги босқичи бўлиб ҳисобланади. Кўрсатилган босқичнинг тугаши клапан 110 ёпилади, газ тақсимловчи қурилма 5 I ҳолатга ўтади ва адсорбер 6 кисмлородга бойитилган ҳавони пуфлаш режимида ишлайди.

Комбинацияланган газ тақсимлаш жараёнини ташкил этувчи қурилмалар махсус қизиқиш уйғотади. Шунга ўхшаш жараёнинг технологик схемаси 1.14 [7] расмда келтирилган.

Қурилманинг асосий блоклари адсорбцион ва мембранали ҳисобланади. Кўрсатилган блокларнинг биринчисида дастлабки концентрациялаш амалга оширилади, иккинчисида ўз тартибида силикон резина ёки полисульфат бўлган диффузион мембраналарда нозик тозалаш олди ишлари бажарилади. Қурилма таркибига қўшимча мембранали ячейкалар киради, унда босим тушиши ва адсорберни пуфлаш босқичида ҳосил бўладиган газ оқими йўналтирилади.



1.14 расм. Комбинацияланган газ ажратиш қурилмасининг технологик схемаси.

1,6,10- компрессорлар; 2,5,8,9- ресиверлар; 3,4- адсорберлар; 7,11- мембраналар.

[18] ишда ўта қисқа циклли адсорбция қурилмасининг ишланмаси ҳақида маълумотлар келтирилган. Бу қурилмалар кичик заррали цеолитнинг зич қатлами билан тўлдирилади. Улардан ўтаётган газ оқими ошиқча босимни деярлик йўқотади. Қурилмага киришда тез ҳаракатланувчи клапан бор. У даврий равишда ҳар бир адсорбери сиқилган газ манбаи ва атмосфера билан улайди. Уларнинг қуйи чегараси 0,1 с ни ташкил этади. Бу ҳолатда газ аралашмаси ажралиши босимли пуфланмайдиган вариантда амалга оширилади. Жараён юқори эффектлилиги билан фарқланади ва PSA учун чегаравий бўлган компонентлари сақланган газ олишни таъминлайди.

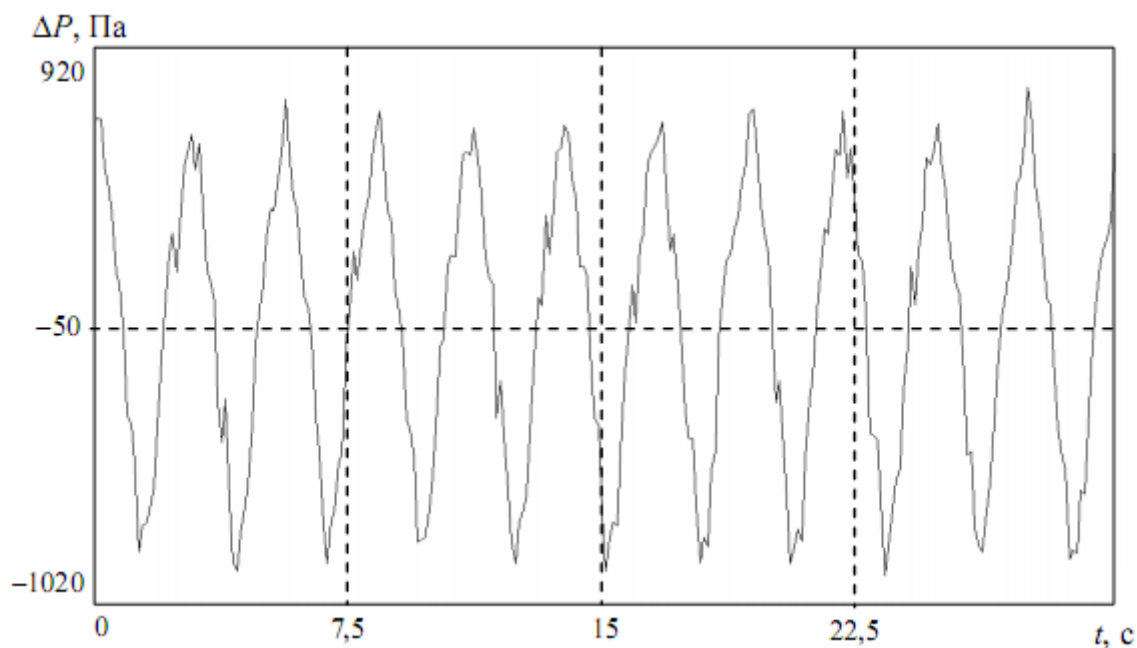
1-боб бўйича хулоса

Мазкур бобда адсорбция ва адсорбцион ажралишнинг физик – кимёвий асослари, кинетикаси ва динамикасининг асосий тушинчалари, сорбция динамикасига адсорбция изотермалари шакллариининг таъсири, ноизотермик адсорбция динамикаси, газ аралашмаларини ажратишнинг қиздирилмайдиган адсорбция жараёнларини ташкил этишнинг бўйича ҳозирги замон назарий ва амалий тадқиқотларнинг таҳлили келтирилган.

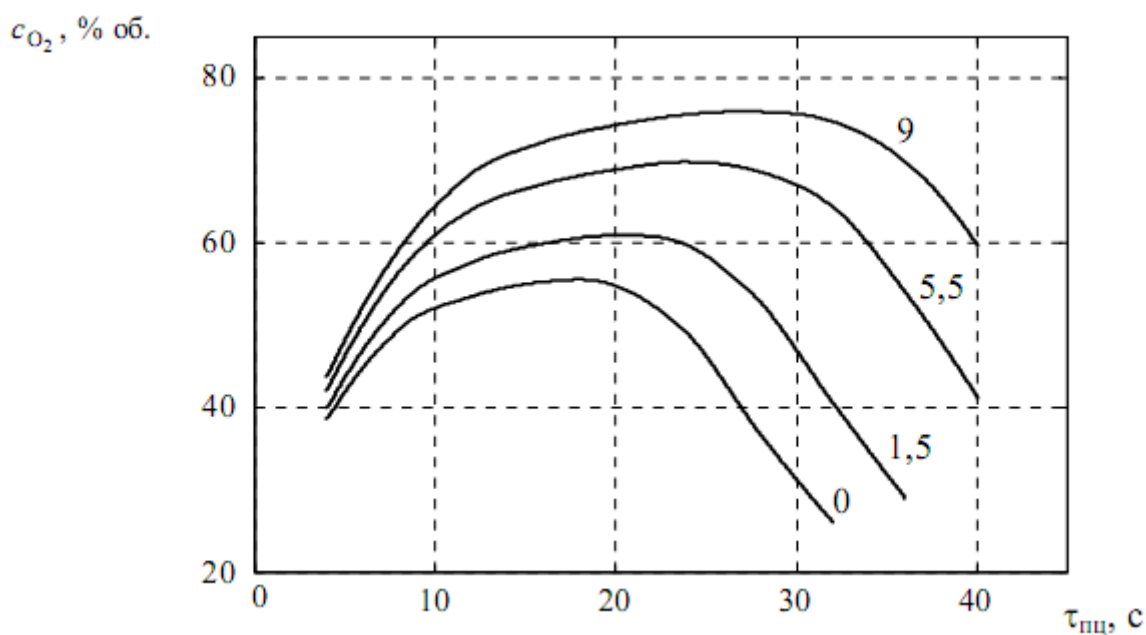
2-БОБ. ГАЗАРАЛАШМАЛАРИ АЖРАЛИШ ЖАРАЁНИНИ ҚИСҚА ЦИКЛЛИ ҚИЗДИРИШСИЗ АДсорбция УСУЛИ БИЛАН ИМИТАЦИОН ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

2.1. Иммитацион тадқиқот ва натижалар таҳлили

2.1. расмда одамнафаси ҳосил қиладиган босимнинг вақтга боғлиқлиги кўрсатилган. Маълумотлар “сунъий ўпкалар” ўртасида олинган ва иммитацион моделлаштиришда ишлатилади.



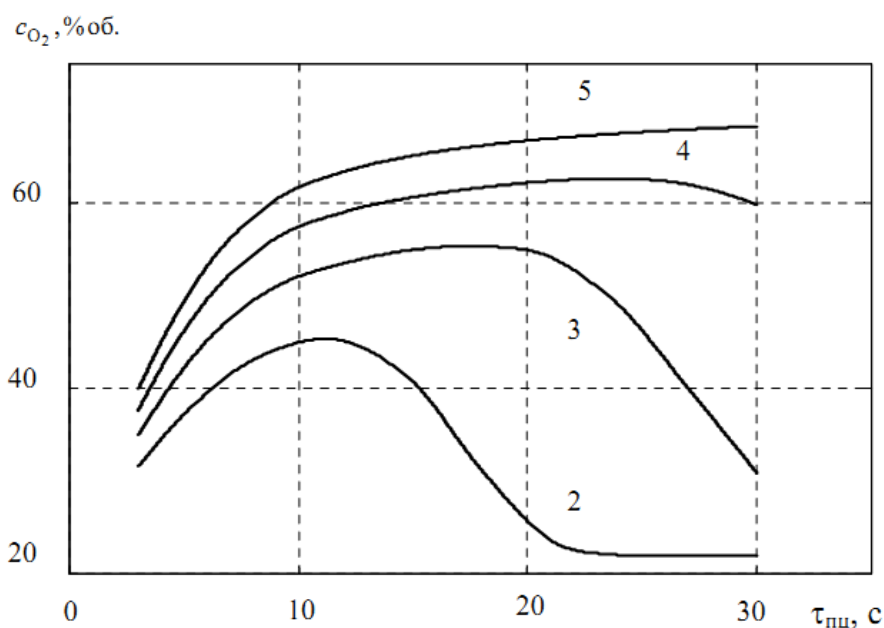
2.1 расм. Одам нафаси ҳосил қиладиган қаршилик



2.2 расм. Водород концентрациясининг ярим цикл вақтига боғлиқлиги:
учиш баландлиги – 0, 1.5, 5.5, 9км

2.2 расмда турли хил учиш баландликлари учун водород концентрациясининг ярим цикл вақтига боғлиқлиги келтирилган.

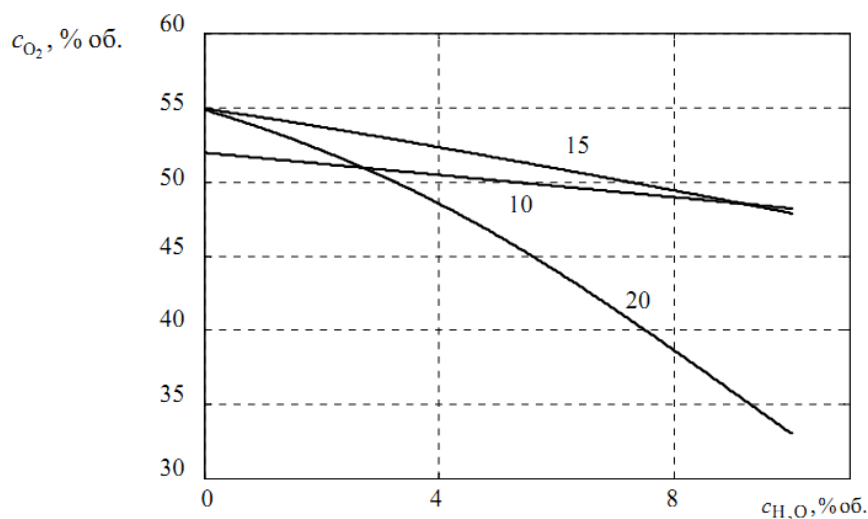
2.3 расмда водород концентрациясининг турли сондаги адсорберлар схемаси учун ярим цикл вақтига боғлиқлиги тасвирланган. 3.3 расм таҳлилидан кўринадики, адсорберлар сони 2,3,4,5 учун ярим циклнинг мақбул вақти 1, 1.5, 2,5 цикларга тахминан қарралидир.



2.3 расм. Водород концентрациясининг ярим цикл вақтига боғлиқлиги:

адсорберлар сони - 2,3,4,5

2.4. расмда водород маҳсулий концентрациясининг ярим циклнинг турли вақтлари учун бошланғич аралашмадаги сув буғлари концентрациясига боғлиқлиги кўрсатилган.



2.4.расм Маҳсулийводород концентрациясининг бошланғич аралашмадаги сув буғлари концентрациясига боғлиқлиги: ярим цикл вақти— 10; 15; 20 с

Газ аралашмалари ажралиш жараёнини қисқа циклли қиздиришсиз адсорбция усули билан имимацион татқиқ қилиш.

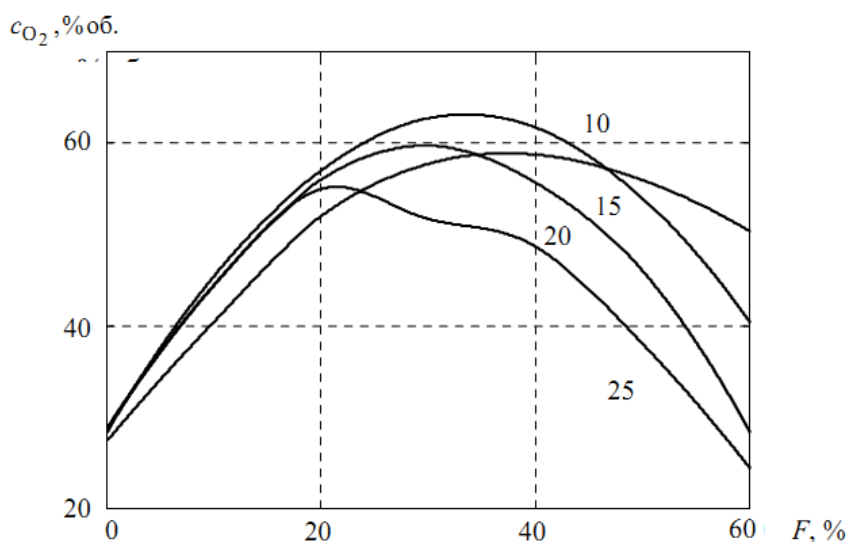
Имимацион татқиқотнинг асосий мақсади бўлиб, газ аралашмалари ажралишининг адсорбцион жараённинг ўтиш характериға турли параметрларнинг таъсирини аниқлаш усули ҳисобланади.

Асосий параметрлар ва диапазонлар, уларнинг ўзгариши 2.1 жадвалда келтирилган.

Параметрлар	Ўзгариш диапазони
Ташқи босимнинг ўзгариши	-
Ярим цикл вақти	5...40с
Схемадаги адсорберлар сони	2...5мм
Ажралувчи аралашма намлиги	0...8%
Тескари пуфлаш катталиги	0...60%
Нафас олувчи аралашмани ажратиб олиш	30...80нл/мин
Адсорберда босим кўтарилиш тезлиги	0,1...1,1 атм/с
Ташқи босимнинг даврий ўзгариши	0,02...0,04 Гц
Одам нафасининг қаршилиги	“Сунъий ўпкалар” аппаратдаги тажрибавий

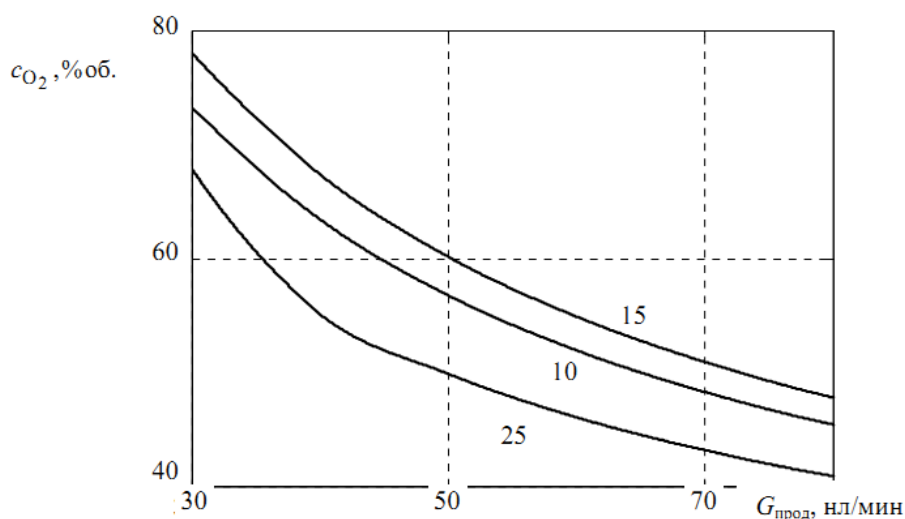
	маълумотларга мос келган ҳолда.
Адсорбент типи	<i>NaX, CaX, Li LSX</i>
Сорбент донаси эквивалент диаметри	1...2,5 мм
Қатлам узунлигининг диаметрга нисбати	2...6

2.5 расмда маҳсулий водород концентрациясининг ярим циклнинг турли вақтларида тескари пуфлаш катталигига боғлиқлиги кўрсатилган. 2.5 расм таҳлилидан кўринадики, водород концентрацияси чиқишининг тескари пуфлаш катталигига боғлиқлиги фавқулота характерга эга. Ярим цикл ватнинг камайишида эгри чизик тўйиниш характерига эга.



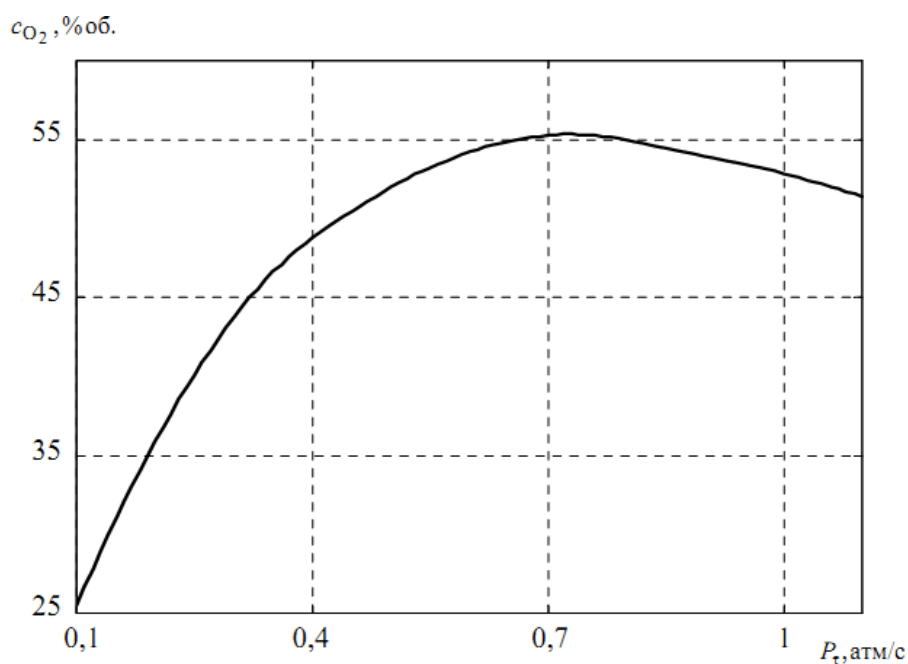
2.5 расм. Маҳсулий водород концентрациясининг тескари пуфлаш катталигига боғлиқлиги: ярим цикл вақти— 10; 15; 20 с

2.6. расмда Маҳсулий водород концентрациясининг ярим циклининг турли вақтлари учун қурилма унумдорлиги катталигига боғлиқлиги кўрсатилган. 2.6 расм таҳлилидан кўринадики, водород концентрациясининг қурилма унумдорлигига нисбатан муосабати юқори унумдорликка эга. Максимал концентрацияга (ўзгармас унумдорликда) қандайдир мақбул вақт мос келади.



2.6.расм маҳсулий водород концентрациясининг адсорберда босим кўтарилиши тезлигига боғлиқлиги: ярим цикл вақти– 10; 15; 20 с

2.7.расмда маҳсулий водород концентрациясининг адсорберда босим кўтарилиш тезлигига боғлиқлиги кўрсатилган. 2.6 расм таҳлилидан кўринадики, адсорберда босим кўтарилиш тезлиги мавжуд. Мақбул тезлик тахминан 0.7 атм/с ни ташкил қилади.



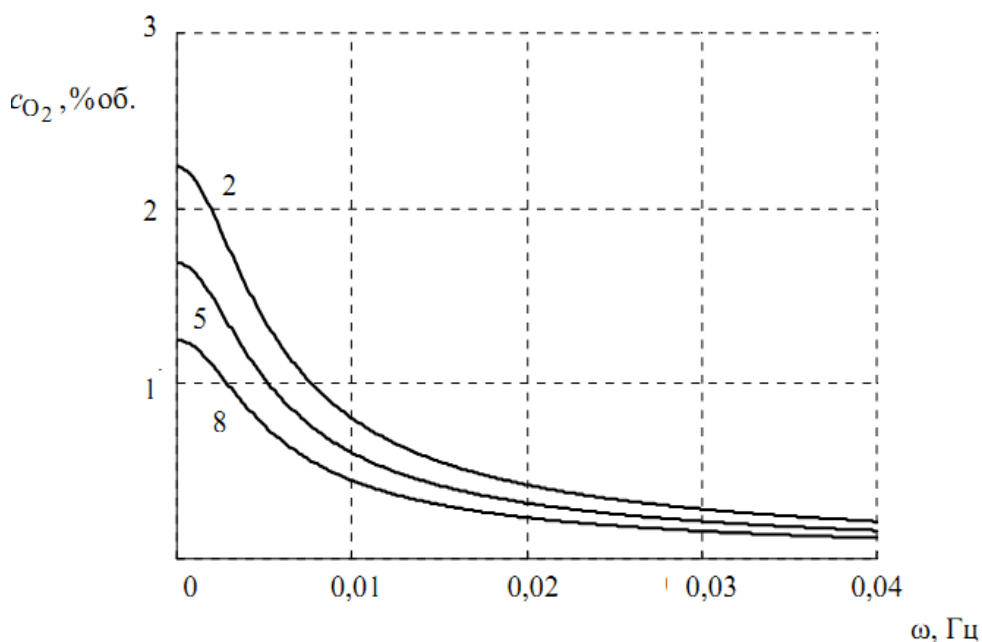
2.7.расмда маҳсулий водород концентрациясининг адсорберда босим кўтарилиш тезлигига боғлиқлиги: ярим цикл вақти– 10; 15; 20 с

Берилган қиймат тавсия этилган 0.5атм/с дан ошади. 0.5атм/с қиймат сорбентнинг механик сақланиш тартибидан келиб чиққан. $\text{CO}_2(P_t)$ таривавий

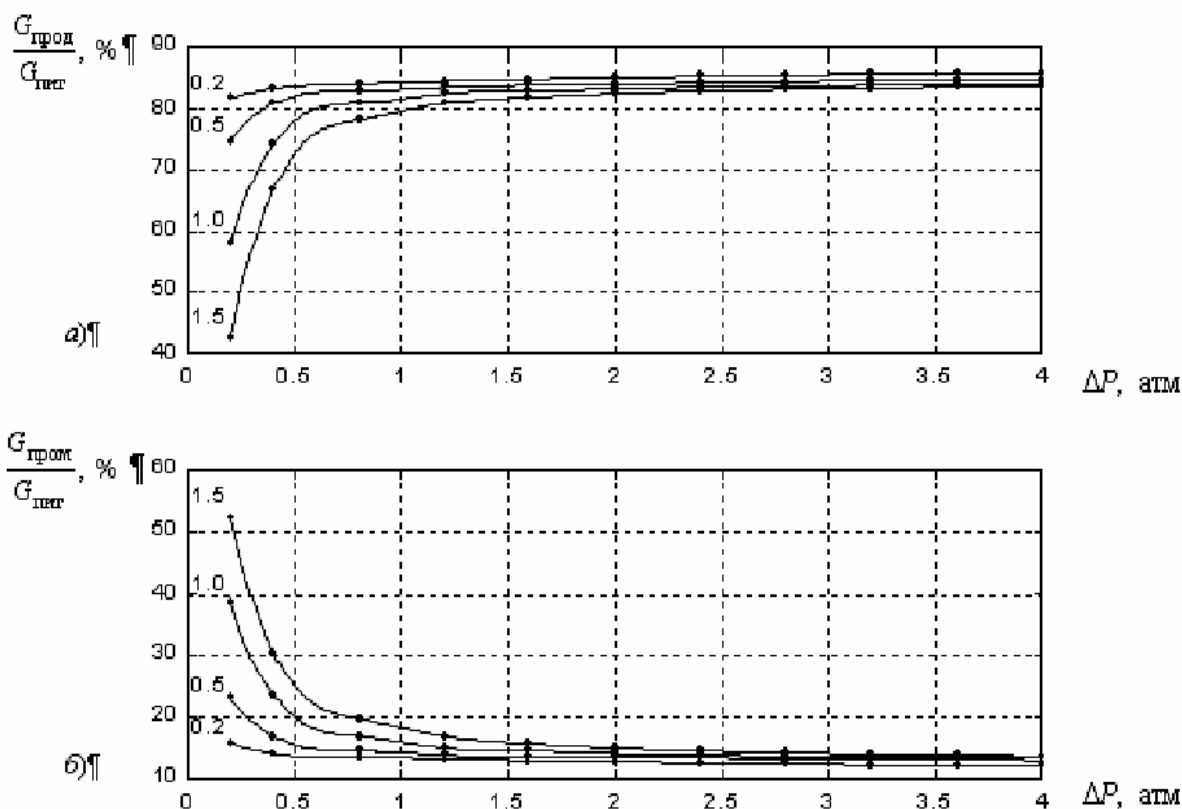
боғлиқликлар учун сорбентда водород “камалиши” ҳодисаси билан боғлиқ бўлган ўнг қисмдаги концентрациянинг кичикроқ қиймати характерлидир.

2.8. расмда маҳсулий аралашмада водород концентрацияси ўзгаришининг турли баландликларда параметрик босим тебраниш частотасига боғлиқлиги келтирилган. Тажрибанинг асосини ажралиш системасининг учиш баландлигининг гармоник ўзгаришига жавоби ҳисобланади. (2.7 расм). Усул турли учиш режимида турли барометрик босим частотаси ўзгариши мос келади деган тахминга асосланган. 2.8 расмдан кўринадикки, адсорбцион ажралиш системалари учун юқори частотали филътр хоссалари характерлидир.

2.9 расмда маҳсулий ўртача сарфнинг ва бошланғич аралашма босимлари фарқи ва барометрик босимга боғлиқлик келтирилган.



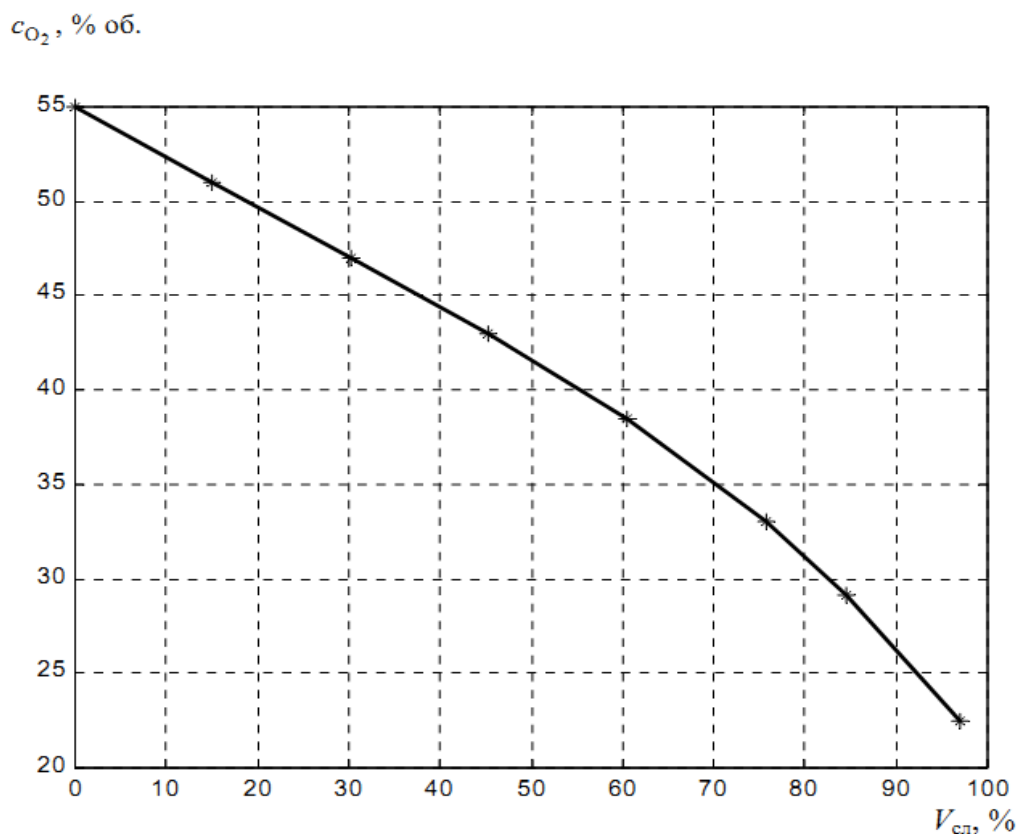
2.8. расм. Маҳсулий аралашмада водород концентрацияси ўзгаришининг турли баландликларда параметрик босим тебраниш частотасига боғлиқлиги: ярим цикл вақти— 10; 15; 20 с



2.9-расм. Ўртача сарфлар нисбати:

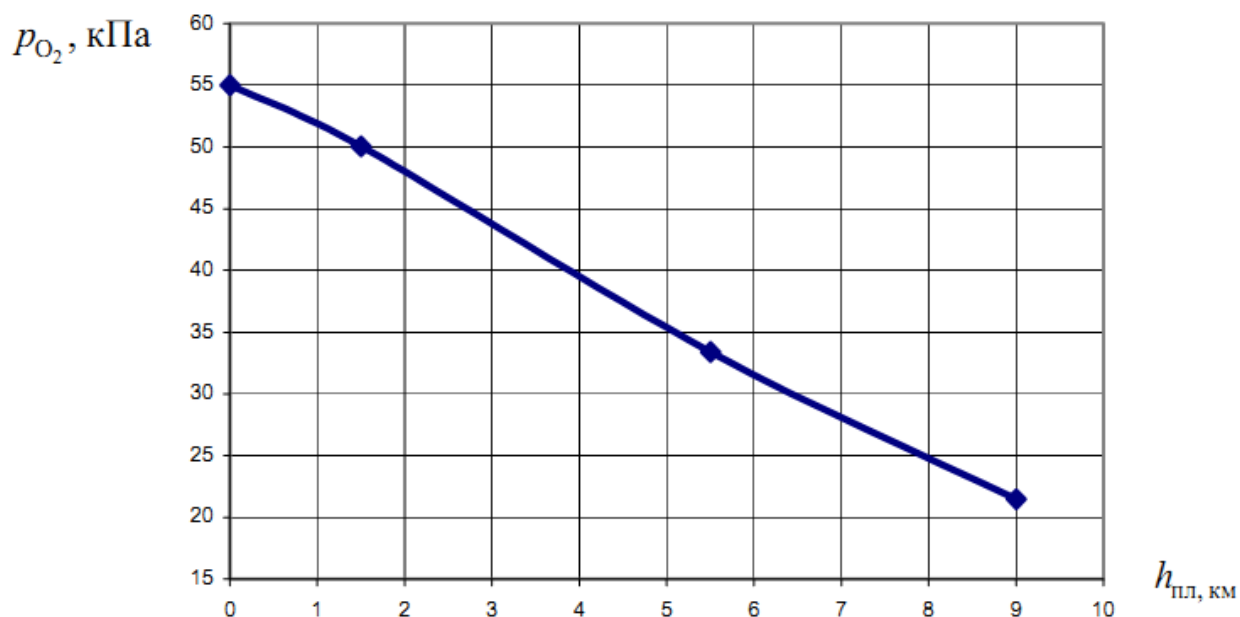
а) маҳсулий; б) $\Delta P = P_{пит} - P_{бск}$, $P_{бск}$: 0.2, 0.5, 1.0, 1.5 атм катталикка эга бўлган ювувчи ва ажратувчи газ аралашмаси

2.10. расмда водород чиқиш концентрациясининг сорбент юза қатлами фаоллиги йўқолишига юғлиқлиги келтирилган. Фаоллик йўқолиши сабаби адсорбент қатламининг ортиқча сув ютиши ва механик емирилишдир. 2.10 расмдаги таҳлилдан кўринадики, сорбент пешона қатлами фаоллиги йўқолиши чиқиш концентрациясининг деярли бир текис камайишига олиб келади. Эгри чизиқнинг ўнг тарафида ночизиқлик намоён бўлади. Ночизиқликнинг мавжудлиги сорбцион қатлам узунлигининг унинг диаметрига нисбати камайишига ва сорбцион фронт фронт ювилиши кенгайишига боғлиқ бўлган самара ортиши билан тушунтирилади.



2.10. расм чиқувчи кесимлар концентрациясининг сорбент пешона қатлами фаоллиги йўқолишига боғлиқлиги

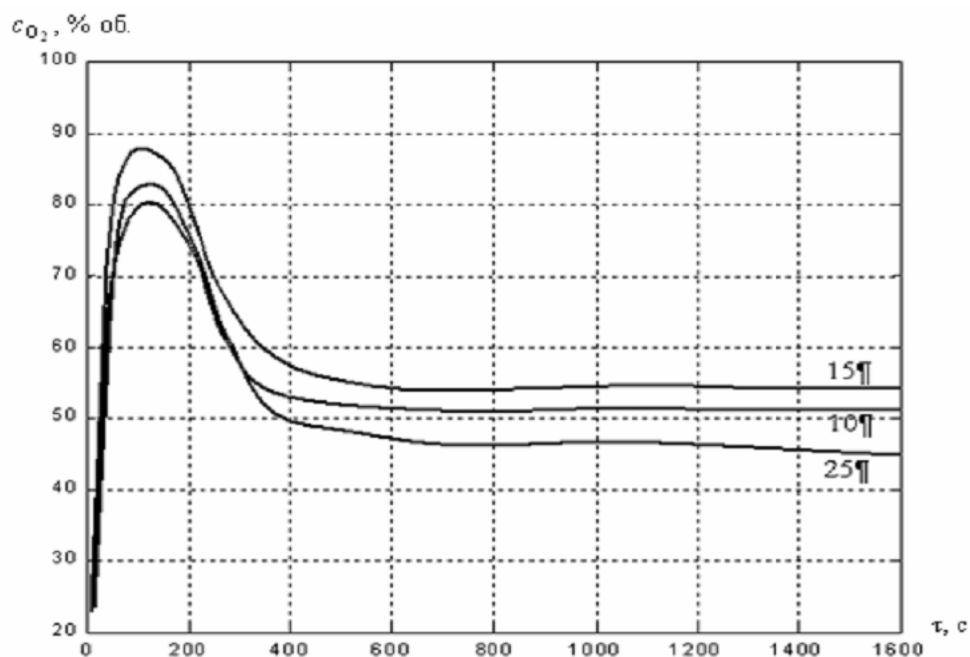
2.11 расмда маҳсулий аралашмада водород порциал босимнинг герметикланган кабинада кўтарилиш баландлигига боғлиқлиги кўрсатилган. Герметиклаш босими маҳсулий ва ташландиқ аралашмасидаги тенглаш ҳолатига мос келади. 2.11-расмдаги таҳлилдан кўриниб турибдики, кичик баландликларда герметикларнинг нафас олиш аралашмасидаги кислород порциал босими кўтарилиши кузатилади. 3.5 км баландликда $PO_2(h_{nl})$ эгри чизик физиологик меъёр юқори чегарасини кесиб ўтади ва 9 км баландликда 22 кПа нормал концентрацияга эришади. Шундай қилиб, герметикланган кабинада кичик баландликларда жараён параметрларини тузатиш зарурдир ва бу 3.5 кмдан каттароқ баландликларда мақсадга мувофиқдир.



2.11. расм. Маҳсулий аралашмада водород порциал босимнинг герметикланган кабинада кўтарилиш баландлигига боғлиқлиги

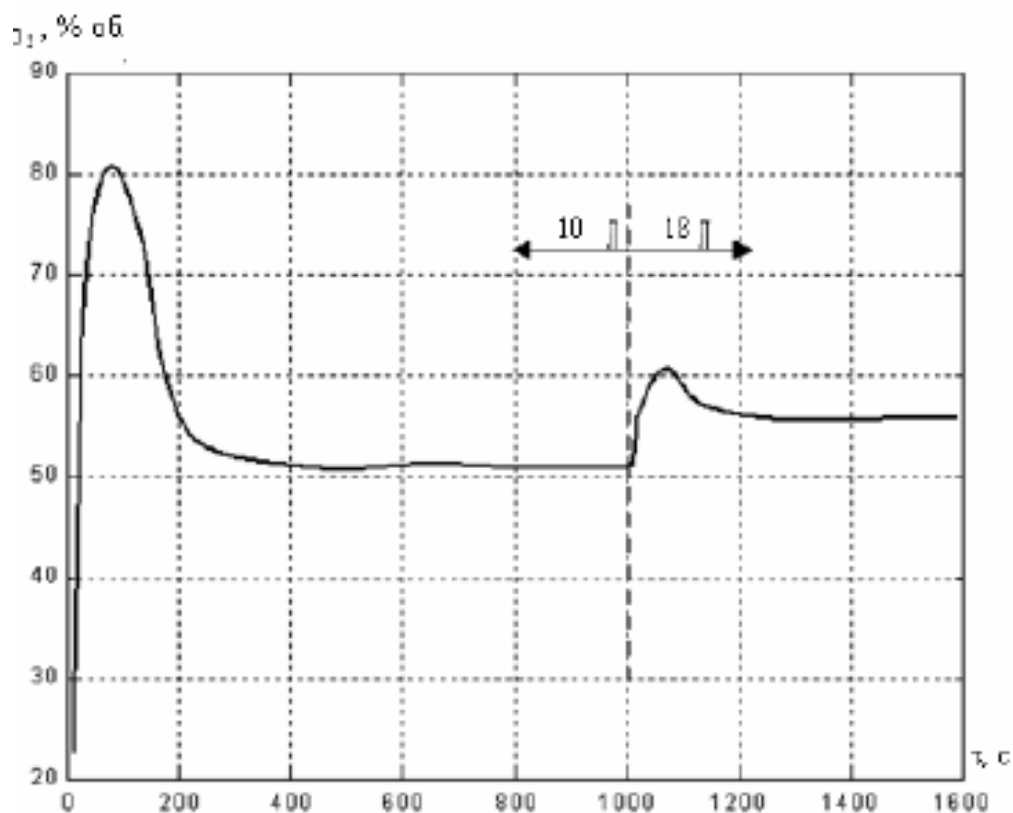
2.12. расмда маҳсулий аралашмадаги кислород порциал босимнинг герметик кабинада кўтарилиш баландлигига боғлиқлиги кўрсатилган.

Герметиклаш тартиби ташланувчи аралашма босими барометрик босимга тенг, кабинадаги босим барометрикдан катта бўлган ҳолатга мос. 2.12 расмдаги таҳлилдан шундай хулоса чиқадики, $PO_2(h_{пл})$ эгри чизикда иккита характерли нукта мавжуд. Биринчиси баландлик бўйича порциал босим максимумига мос ва тахминан 3 км га тенг баландликда пайдо бўлади. Иккинчиси нафас олувчи аралашмадаги кислород порциал босимнинг кескин пасайишини аниқлайди ва 7 км баландликда содир бўлади.



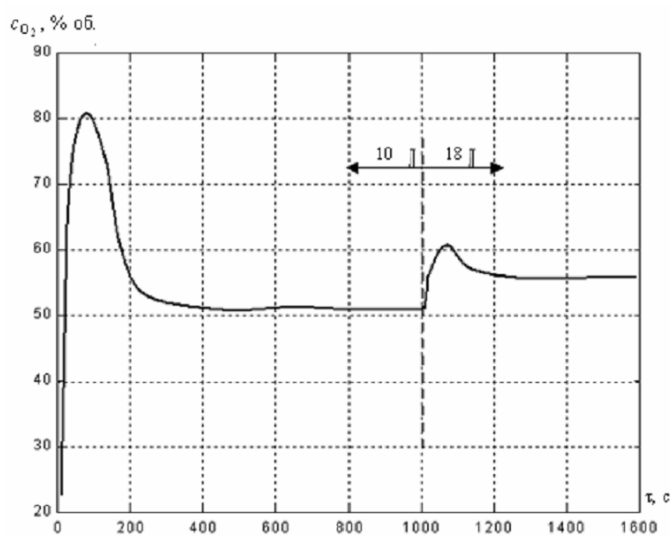
2.12. расм. Маҳсулий аралашмадаги кислород порциал босимнинг кўтарилиш
баландлигига боғлиқлиги(герметик кабина)

2.13. расмда ўртача цикл маҳсулий водород концентрациясининг ошиши билан характерланади.концентрация стабиллашуви учун талаб қилинадиган цикллар сони тахминан 40...70 тани ташкил қилади. Ўртача концентрация стабиллашуви учун талаб қилинадиган цикллар сони адсорбция босқичини давомийлигининг ортиши билан камаяди. Эгри чизиқнинг ўнг тарафида паст частотали ташкил этувчи кузатилади. Шундай қилиб, адсорбцион ажралиш қурилмасининг чиқишда тартибга (режимга) маҳсулий кислороднинг оширилган концентрациясини компенсациялаш зарур.



2.13. расм. Кислород концентрацияси ўртача циклининг вақтга
 боғлиқлиги: ярим цикл вақти 10, 15, 25 с

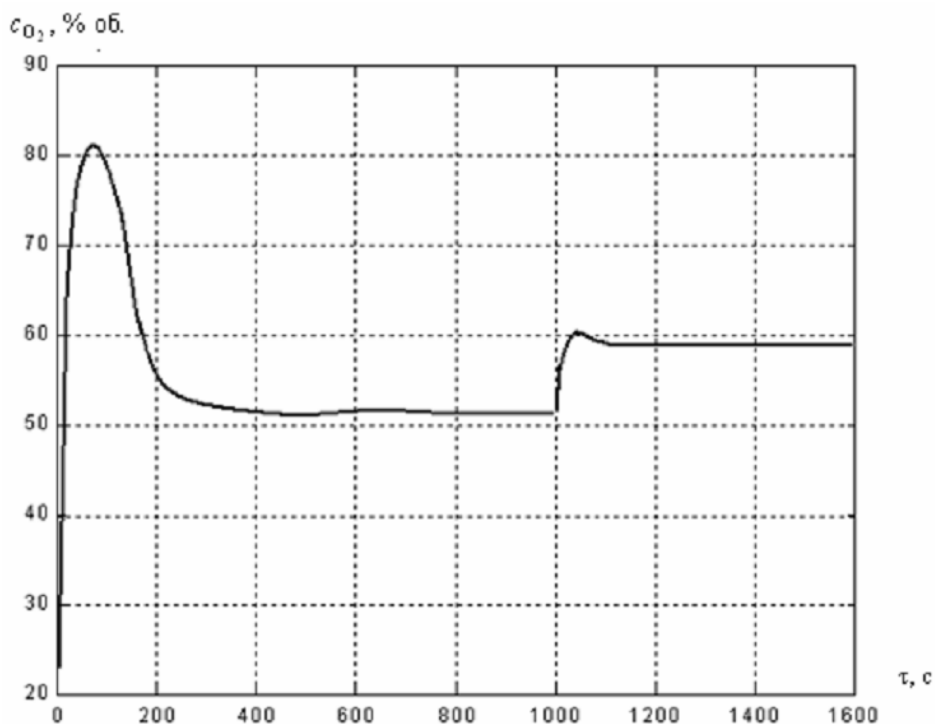
2.14.-расмда кислород маҳсулий концентрациясининг цикл давомида
 вақтга ўртача боғлиқлигининг ярим цикл 1000чи С нинг вақтнинг сакраш
 тартибида ўзгаришидаги ҳолати тасвирланган.ярим цикл квақти 10 дан 18 с
 гача ўзгаради.



2.14. расм. Цикл кислород концентрациясининг сакраш тартибида
 ўзгарувчи ярим цикл 10дан 18 гача бўлган вақтга ўртача боғлиқлиги

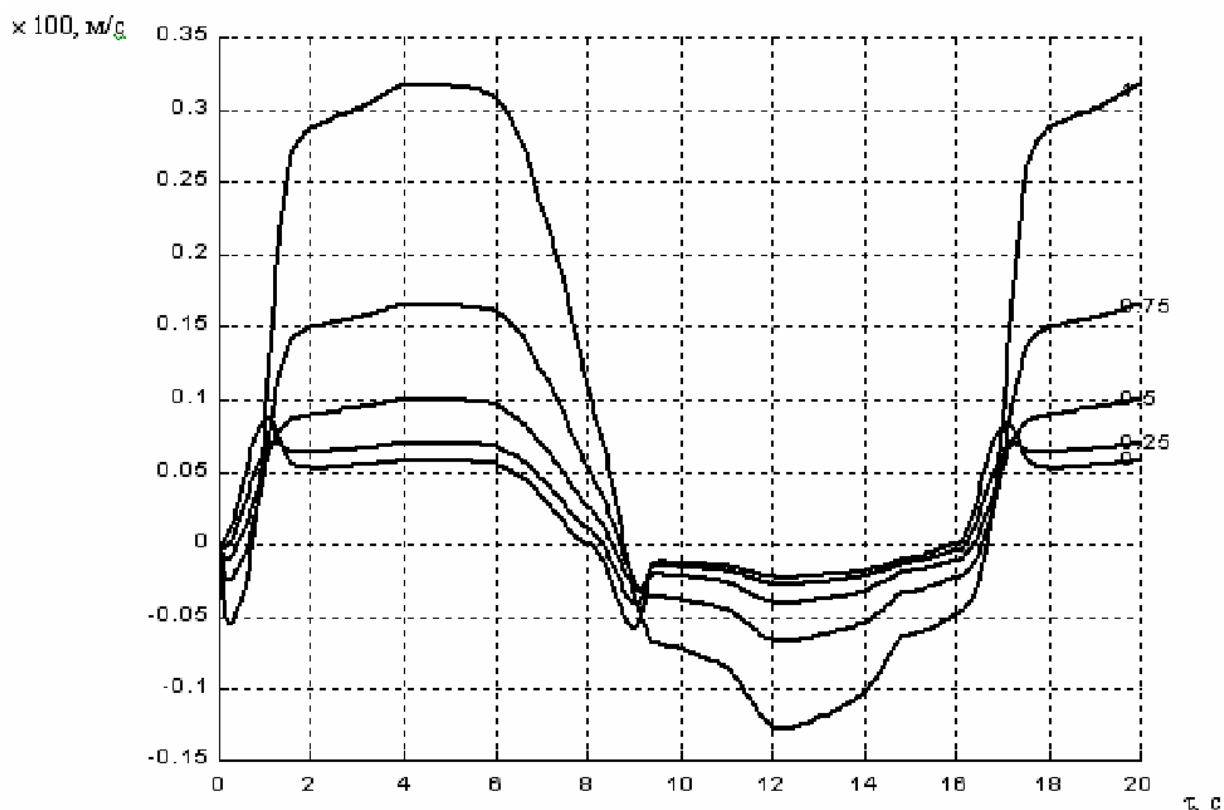
Шундай қилиб, ўтиш жараёни вақтнинг ўзгармаси ($\approx 40\tau_{\text{пц}}$) билан характерлаш мумкин, яъни инерциялик ва динамик чизиқлилиқ ўринлидир. Кислород консентрациясининг ўрнатилган қийматига нисбатан ортиши адсорбцион ажралиш жараёнини ўтиши бошланишининг характерли жиҳати ҳисобланади.

2.15 расмда бир циклда маҳсулий кислород консентрациясининг сакраш тартибида ўзгарувчи 1000 с даги тескари пуфлаш катталиги ўзгаришида вақтга ўртача боғлиқлиги тасвирланган. Тескари пуфлаш катталиги маҳсулий аралашмадан 20 дан 35% гача ўзгаради. Шундай қилиб, ўтиш жараёнини вақт вақт дақомийси ($\approx 10\tau_{\text{пц}}$) билан характерлаш мумкин яъни, юқори инерционлик ва динамик чизиқлилиқ ўринли.



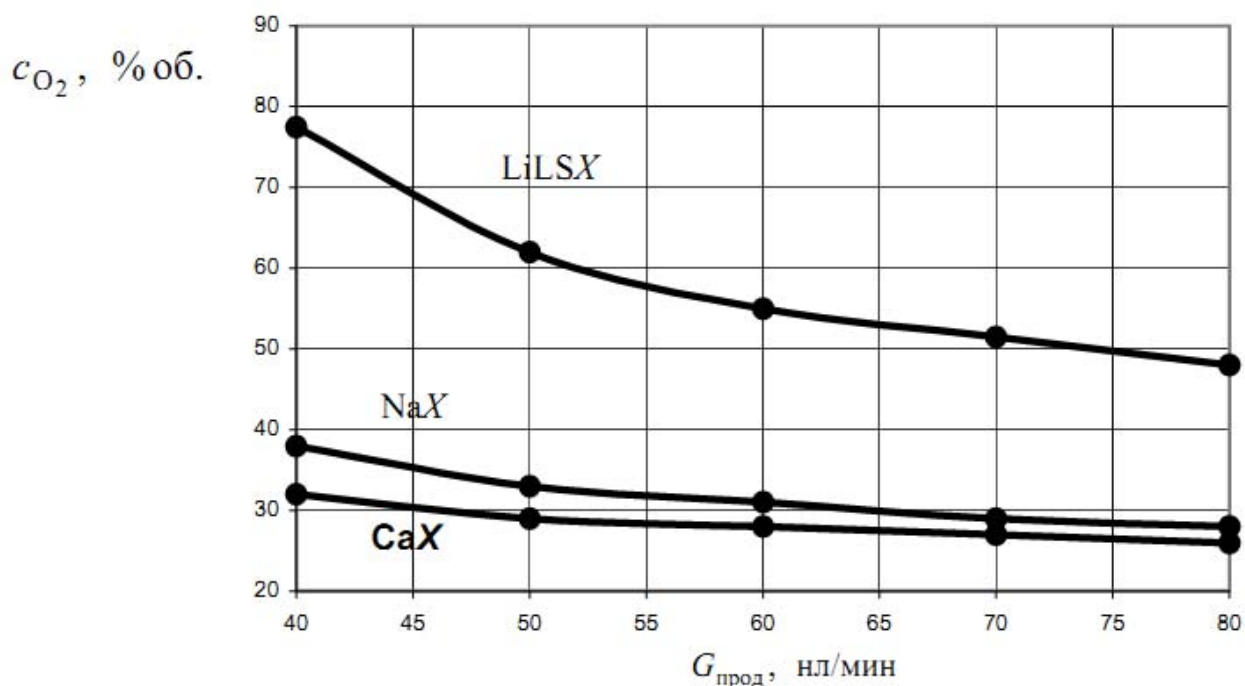
2.15. расм. Ўзгарувчи циклда кислород консентрациясининг сакраш тартибида тескари пуфлашнинг 25 дан 35 % катталиқда вақтга ўртача боғлиқлиги.

2.16 расмда адсорберда оқим тезлигининг “адсорбер турли кесимлари учун вақтга боғлиқлиги кўрсатилган. Графиклар зарбасиз клапанларни моделлаштиришга мос келади.” 3.16 расм таҳлилидан шундай хулоса қилсак бўладики, адсорбер босқичига қараганда десорбция босқичида пастроқ қийматлар характерли. Барча кесимларда вақт бўйича оқимнинг доимий тезликли характерли бўлаклари мавжуд.



2.16-расм. Адсорбер оқим тезлигининг вақтга боғлиқлиги: адсорбер кесимлари 0; 0,25; 0,5; 0,75;1

2.17 расмда маҳсулий оқим кислород концентрациясининг қурилма унимдорлигига боғлиқлиги кўрсатилган. Эгри чизиклар сорбентнинг турли типларига мос келади. NaX , CaX типли цеолитлар маҳсулий кислород конентрацияларининг паст даражасини олишга имкон беради.

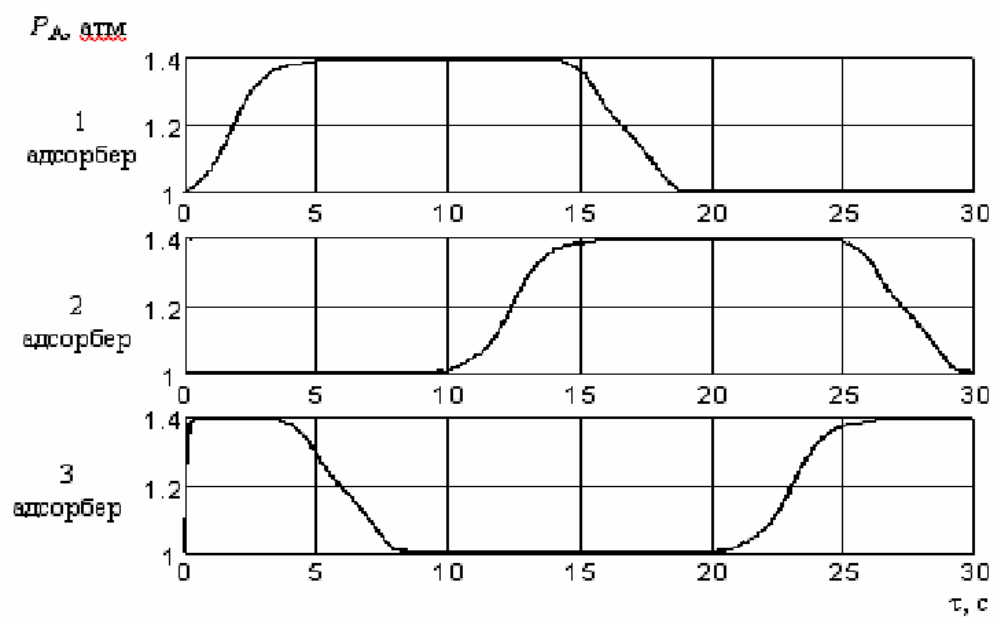


2.17 расм. Маҳсулий кислород концентрациясининг қурилма унумдорлигига боғлиқлиги: цеолит *LiSX*, *NaX*, *CaX*

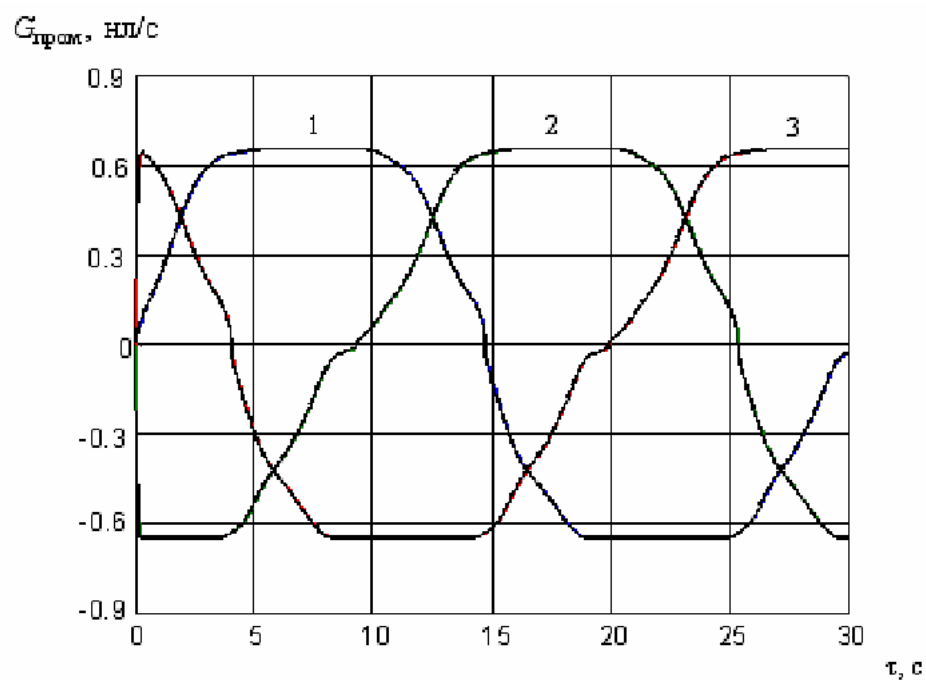
Шундай қилиб *NaX*, *CaX* цеолитларнинг қўлланиши нафас олиш аралашмасида кам концентрацияли кислород олиш учун яроқли, бу кичик баландликларда нафас олиш учун яроқли.

2.18 расмда адсорбердаги босимнинг вақтга боғлиқлиги кўрсатилган. 2.18 расм таҳлилидан кўринадики, БКДУ қурилмасида адсорбцион ажралиш жараёни учун адсорберда умумий босимли узун бўлакнинг мавжудлиги характерлидир.[7] ишга мувофиқ бир текис ҳаракатини таъминлайди. Босимни кўтариш ва тушириш тезлигини орттириш учун захира мавжуд.

2.19 расмда дросселнинг ўзгармас ўтиш кесими учун вақт бўйича ўтувчи аралашма сарфи ўзгариши кўрсатилган. Сарфнинг мусбат қиймати фазо орқали адсорбердан чиқиш оқимига мос келади. 2.19 расмдаги таҳлилдан хулоса қилиб шуни айтишимиз мумкунки, сарф ўзгариши тўлқинсимон характерга эга. Олинган характеристикалардан мураккаблиги фарқланмайди, бу эса ювувчи аралашма сарфини самарали бошқариш мумкинлигини тасдиқлайди.



2.18. расм. Адсорберларда вақт бўйича босим ўзгариши



2.19.расм. Дросселнинг ўзгармас ўтиш кесими учун ювувчи аралашма сарфининг ўзгариши: адсорберлар 1, 2, 3

Қўйилган масалаларни ҳал қилиш асосида алгоритм ва бошқариш системасини танлаш масаласи кўрилади.

[72] ишда кўрилган ишлар тоифасига мувофиқ газ аралашмаларини адсорбцион ажралиш жараёнини бошқариш учун кенг миқёсдаги бошқарув системасини қўллаш мумкин. 2.1а) расмда бошқарувнинг пассив системаси кўрсатилган. Унда математик моделнинг йўқлиги унинг асосий хусусиятидир. Бундай система объектдан киритиш параметрлари Y ва ғалаёнли f нинг қийматларини олгач ўзаро таъсирни бошқарувчи U векторни шакллантиради.

2.1 б) расмда актив бошқарув системаси тасвирланган. Унда ўзаро бошқаришни ишлаб чиқувчи математик модел қўлланилган. Система фақат ғалаёнли ўзаро таъсир f нинг қийматларини олади. Қидирув алгоритми ва математик модел ҳамкорлиги натижасида бошқарувчи ўзаро таъсир ишлаб чиқилад ва у бошқарув объекти киришига берилади

КБА усули бўйича газ аралашмаларини адсорбцион ажралиш жараёнини тадқиқ қилишга қаратилган кўпчилик ишларда [13, 31, 47] одатда унинг технологик ва конструкция жиҳатлари кўрилади, бошқариш системаси (БС) га иккинчи даражали деб қаралади.

Адсорбция ажралиш жараёнини ташкил қилишнинг кўп хиллигига қарамай атроф муҳит параметрларининг динамик ўзгариши, сорбент хоссалари, маҳсулий газни истеъмол қилиш, КБА қурилмалари фаолиятининг режимини оператив баҳолаш имкониятининг йўқлиги шароитида адсорбцион ажралиш жараёнини бошқариш системасини ишлаб чиқиш масаласи очиқ қолади.

Алгоритмларни бошқариш системаларини ишлаб чиқишнинг асосий босқичларидан биттасиКБА жараёнини бошқарув объекти сифатида таҳлил қилишдир. Бу масалани ҳал қилиш учун [60 – 70] ишларда келтирилган тадқиқ қилишнинг маълум алгоритмлари қўлланиши мумкин. Бунда объект хоссаларини аниқлаш ва тадқиқ қилиш замин бўлиб хизмат қилади.

2.2 Имитацион тадқиқотларнинг асосий натижалари

Ўтказилган имитацион тадқиқотлар ўтказилиши натижасида газ аралашмаларини КБА усулида ажратиш жараёнининг ўтиш характерига турли параметрларнинг таъсир этиши аниқланди. (2.1 жадвалга қаранг)

1. Турли кўтарилиш баландлиги ва турли сондаги адсорбер схемалари учун ярим цикл вақтнинг концентрация бўйича мақбул қиймати.

2. Адсорберда босим кўтарилиши тезлигининг мақбул қиймати

3. Ярим циклнинг турли вақтлари учун тескари пуфлаш ҳажмининг мақбул қиймати.

4. Юқори намликли аралашмалар ажралиши жараёни характеристикаси.

5. Барометрик босимнинг гармоник ўзгаришига система акс таъсири.

2-боб бўйича хулоса

Мазкур бобда турли кўтарилиш баландлиги ва турли сондаги адсорбер схемалари учун ярим цикл вақтнинг концентрация, адсорберда босим кўтарилиши тезлигининг бўйича, ярим циклнинг турли вақтлари учун тескари пуфлаш ҳажмининг оптимал қийматлари ва юқори намликли аралашмалар ажралиши жараёни характеристикаси ҳамда барометрик босимнинг гармоник ўзгаришига система акс таъсири бўйича олиб борилган назарий тадқиқот натижалари акс этган.

3-БОБ. ГАЗ АРАЛАШМАЛАРИ АДСОРБЦИОН АЖРАЛИШ ЖАРАЁНИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ ТИЗИМЛАРИ

3.1. Адсорбцион ажралиш жараёнларини бошқариш соҳасининг хозирги замон таҳлили

[13, 31, 47] ишларнинг кўпчилигида газ аралашмаларининг КБА усулида адсорбцион бўлиниш жараёнининг технологик ва қурилма жиҳатига алоҳида эътибор берилган бўлиб, бошқариш системасини ишлаб чиқариш ишларига иккинчи даражали эътибор қаратилган.

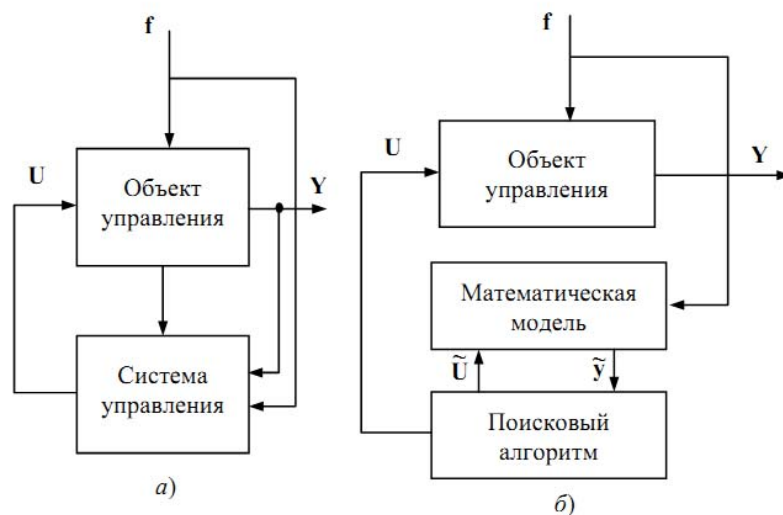
3.1а) расмда бошқарувнинг пассив системаси кўрсатилган. Унда математик моделнинг йўқлиги унинг асосий хусусиятидир. Бундай система объектдан киритиш параметрлари Y ва ғалаёнли f нинг қийматларини олгач ўзаро таъсирни бошқарувчи U векторни шакллантиради.

3.1 б) расмда актив бошқарув системаси тасвирланган. Унда ўзаро бошқаришни ишлаб чиқувчи математик модел қўлланилган. Система фақат ғалаёнли ўзаро таъсир f нинг қийматларини олади. Қидирув алгоритми ва математик модел ҳамкорлиги натижасида бошқарувчи ўзаро таъсир ишлаб чиқилади ва у бошқарув объекти киришига берилади

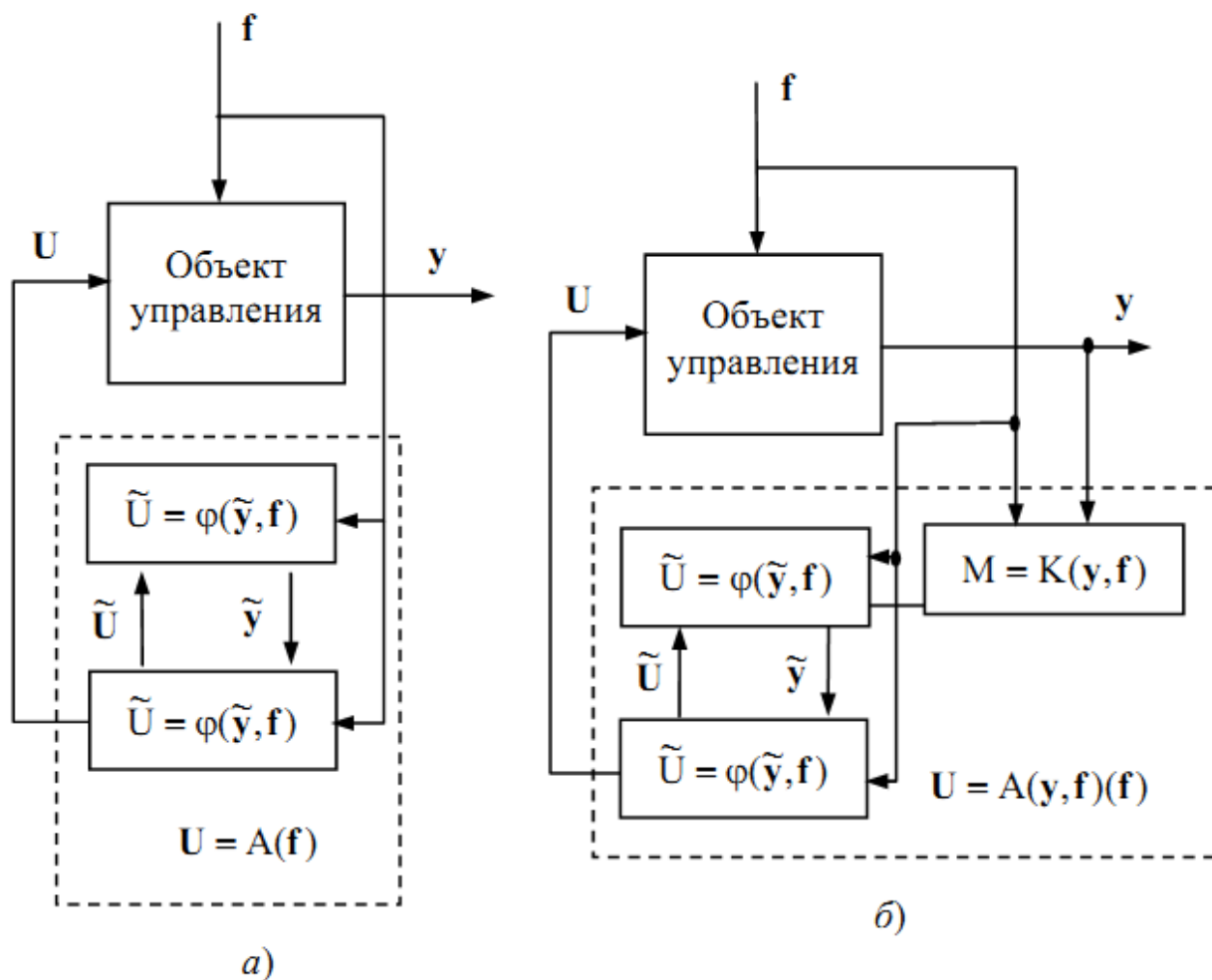
Пассив ва фаол системалар қаттиқ ва тажрибавий системаларга бўлинади. Тажрибавий пассив система A операторга эга, бу оператор y ва f параметрларнинг қийматига боғлиқ ўзгаради.

Фаол системалар қаттиқ ва тажрибавийга ажратилади. Қаттиқ фаол система жараёнда ўзгармас бошқарув моделига эга. M оператор бошқаруви $\tilde{U}$, ғалаёнли f ва чиқиш параметри $\hat{Y}$ орасидаги боғлиқлик ўрганилади.

Тажрибавий фаол бошқарув системаси ўз таркибида M математик моделга эга. U чиқиш параметри y ва ғалаёнли ўзаро таъсир f қийматларига боғлиқ равишда ўзгаради.



3.1. расм. Принципиал схема:



а-пассив; б – фаол бошқарув системаси;

3.3. расм. Қаттиқ ва тажрибавий фаол бошқариш системасининг блок –
схемаси

3.2. Абсорбцион ажралиш жараёнини оптимал бошқариш

Объектдан келаётган маълумотларнинг тўлиқмаслиги ва ноаниқлиги бошқару системасини иккита тоифасини қўллашни тақозо этади. Бу ерда тажрибавий бошқариш усули билан бир қаторда аналитик – лингвистик моделга асосланган ёндашишлар ҳам қўлланиши мумкин.

Агар адсорбцион бўлиниш фаолияти режими хзгариши имкони бўлса нафақат созланишни созлашни корректорлаш бошқариш системасини ҳам функционал ва корректорлаш зарурияти туғилади. Шундай ўзгаришларни амалга оширувчи бошқариш системасини ишга тушириш тажрибавий бошқариш системасига яқинлашиш имкониятини беради.

Мақсад ва вазифаларига кўра бошқариш статик, квазистик, динамик, кафолатланган бошқарувчига бўлинади.

3.1 жадвалда КБА жараёнини бошқариш учун қўлланиши мумкин бўлган бошқариш системаларининг таснифи келтирилган. Бошқариш системасининг шартли белгилари қуйидагилар: С – статик; К – квазистик; D – динамик; О – оптималлаш; У – қаноатлантириш; Ж – қаттиқ; А – адаптив; П – пассив; А – актив;

Шундай қилиб КБА жараёнини бошқариш турли бошқариш системалари билан амалга ошириш мумкин. Бу системалар мураккаблиги, нархи, хизмат кўрсатувчиларнинг малакаси лойиҳалаш вақти ва уни татбиқ қилиш, техник ва иқтисодий самарадорлиги билан фарқланади.

Фан ва механиканинг ҳозирги замон босқичида у ёки бу бошқарув системасининг мақсадгаммувофиқлигини баҳолашнинг имитацион моделлаштириш усулини қўллаш зарурий усул бўлиб қолмоқда. 3.4 расмда бошқарув системасининг мақсадга мувофиқлигини танлаш алгоритмининг блок – схемаси келтирилган. Бу алгоритмнинг мақсади, КБА жараёнини бошқариш масаласини ҳал қила оладиган бошқарув системасини тузиш.

Ҳар бир S_i бошқарув системаси $R(S_i)$ – техник талаблар ва $Q(S_i)$ - иқтисодий кўрсаткичлар векторини мос қўямиз., $i = \overline{m, 1}$, бунда, m – бошқарув системалари сони.

Q векторлар тўпламида тартиблаштириш киритамиз, бунда Q векторлар билан киритилган тартиб ўрнидаги муносабатни “ w ” ҳарфи билан белгилаймиз.

$$Q(S_i)w Q(S_{i+1}). \quad (3.1)$$

(3.1) ифода S_i система иқтисодий кўрсаткичлари бўйича S_i система иқтисодий кўрсаткичлари бўйича S_{i+1} системадан “ёмон эмаслигини” кўрсатади. Системалар кетма – кетлиги $S_1, S_2, \dots, S_m$ ни яхшиловчи кетма – кетлик деб атаймиз.

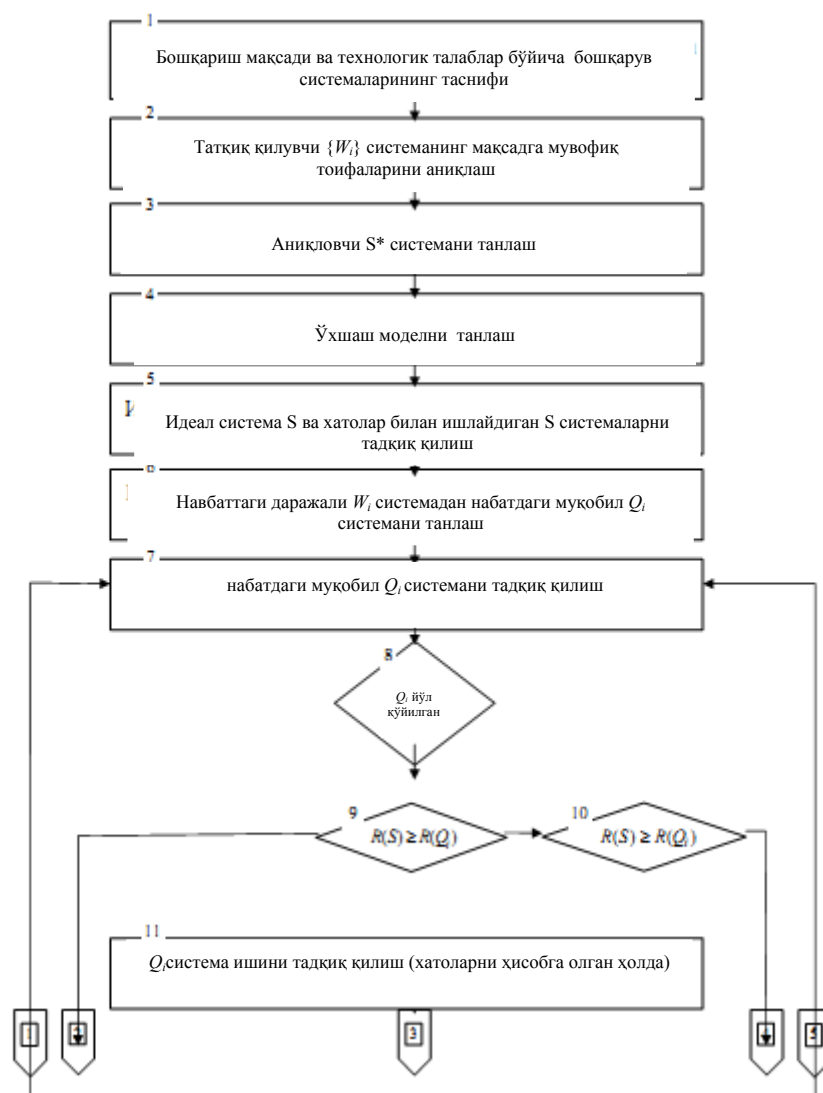
$$R(S_i) \leq R_{\text{доп}}; \quad Q(S_i)w Q(S_{i-1}), \quad (4.2)$$

Бунда, $R_{\text{қўш}}$ - йўл қўйиладиган техник талаблар вектори ва (3.2) даги $\leq$ белги ҳар бир ташкил $R(S_i)$ ва $R_{\text{қўш}}$. Векторлар учун тегишли.

3.1-жадвал

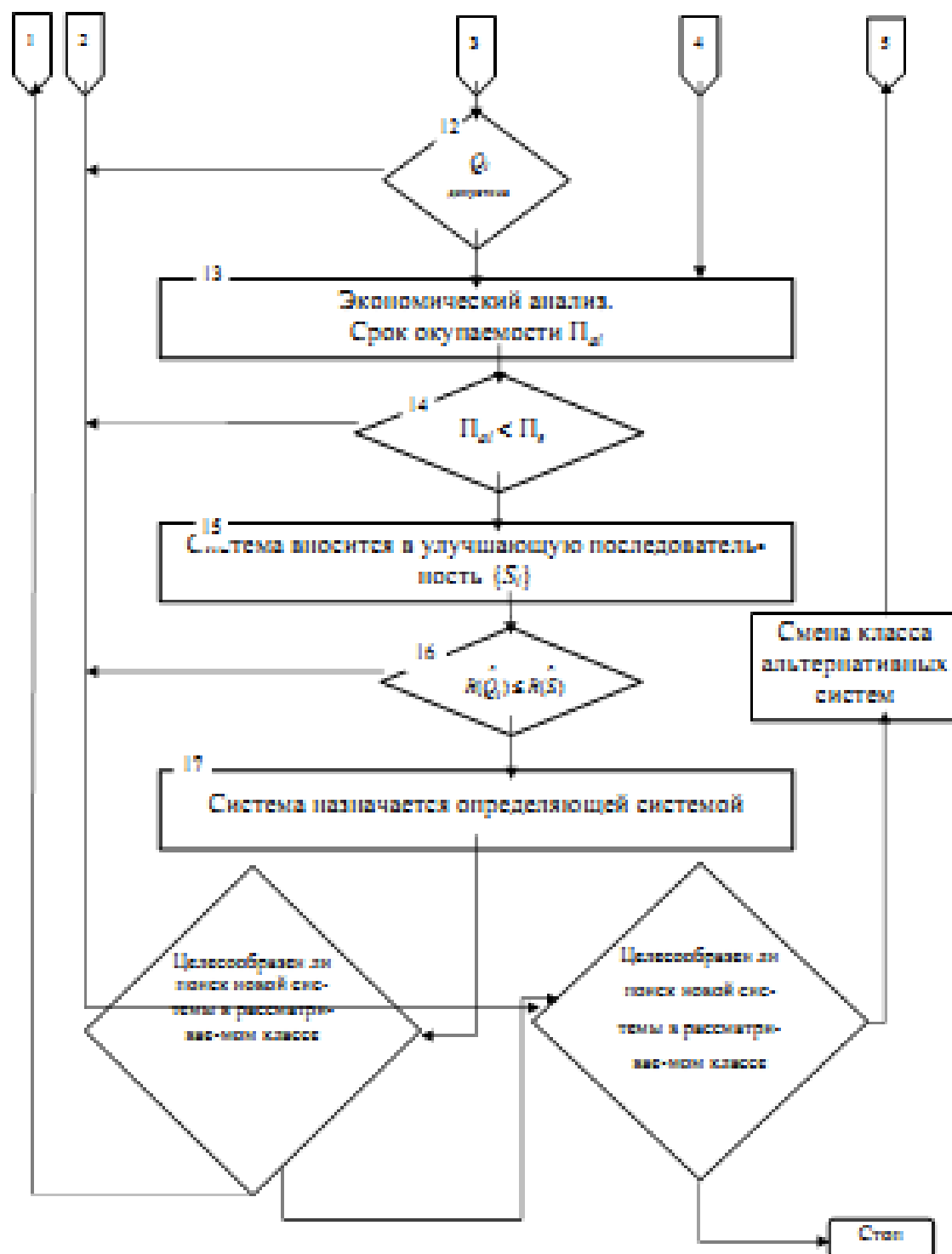
Бошқарув системаларининг тоифалари

Бошқарув системалари тоифалари		Пассив бошқариш системаси		Фаол бошқариш системаси		Кафолатли бошқариш системаси	
		Оптималлаштириш системаси	Қаноатлантириш системаси	Оптималлаштириш системаси	Қаноатлантириш системаси	Оптимал кафолатли системаси	Кафолатли қаноатлантириш системаси
Аниқмас	Қаттиқ	СОЖП	СОАП СУАП	СОЖА _к С ОЖА _к	СОАА _к СОАА _к		
	Адаптив	СУЖП	—	КОЖА _к К УЖА _к	КОАА _к		
Квази статик	Қаттиқ	—	—	КОАА _к ¹			
	Адаптив I	— ДУЖП	— ДУАП	КОАА _к ²			
	Адаптив II	СОЖП СУЖП	СОАП СУАП	КОАА _к ¹⁺²			
	Адаптив I, II	—	—	КУАА _к	2		
Динамик	Қаттиқ						
	Адаптив						



3.4. расм Мақсадга мувофиқ бошқарув системасини танлаш алгоритми

Мақсадли бошқарув системасини танлаш алгоритмининг иши 1-блокдан бошланади, бунда бошқарув масаласи хили ва техник талабларига кўра таснифланади. 3.1 жадвалга мувофиқ тоифаси автоматик тарзда тасдиқланади



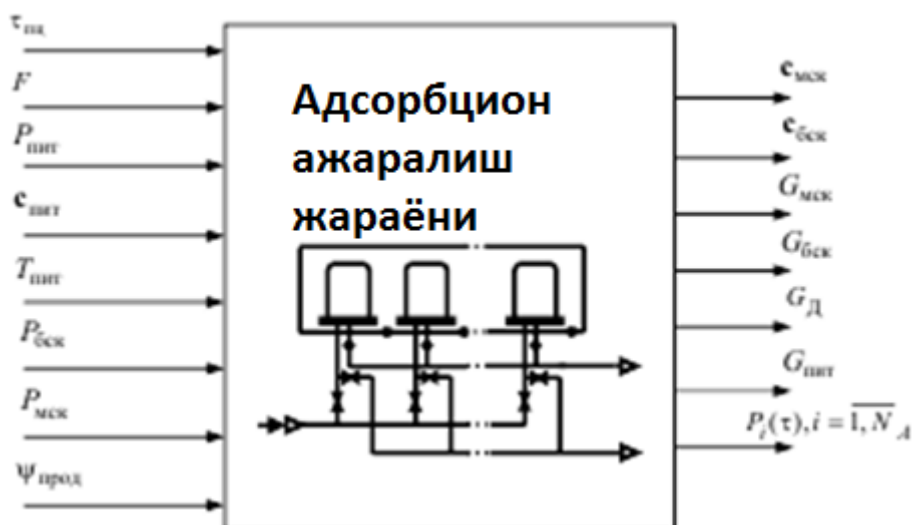
Оптимал масалаларни таснифлашни кўриб чиқамиз. Бу масалалар статик масалалар (6 блок) квазистик (7 блок) динамик (8 блок) масалаларга бўлинади



3.5 - расм.Бошқарув масалаларининг таснифи

2-бобда ишлаб чиқилган математик модель биринчи навбатда адсорбцион ажралишни бошқариш ва синтез қилиш объекти сифатида имитацион тадқиқ қилиш учун мўлжалланган.

Адсорбцион ажралиш жараёнига таъсир қилувчи параметрларни кириш ва чиқиш ўзгарувчиларини ҳамда уларни ўзгариш диапазони аниқлаш мақсадида таҳлил қиламиз.



3.6-расм. Бошқариш объекти сифатидаги адсорбцион ажралиш жараён.

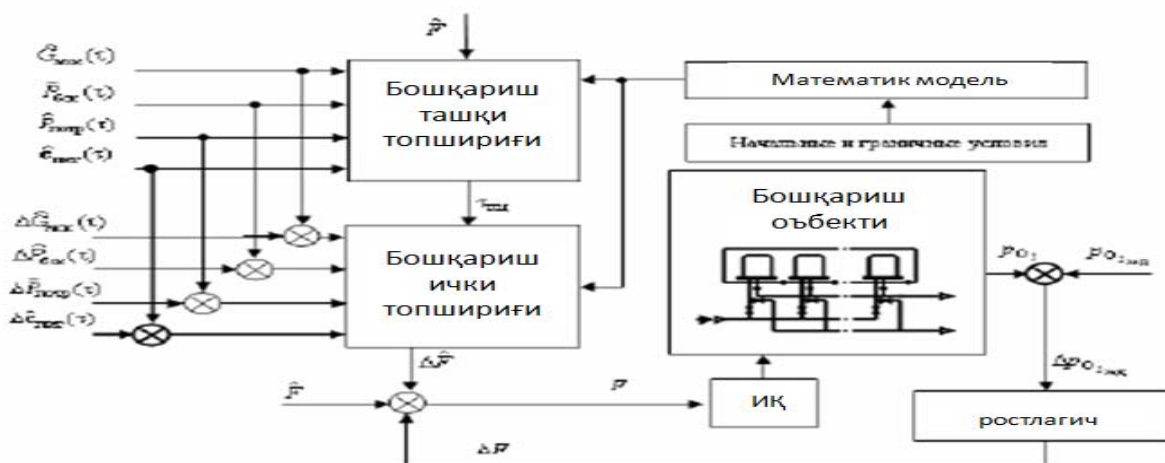
Имитацион тадқиқот натижалари асосида кириш ўзгарувчисининг ўзгариши чиқиш ўзгаришига таъсирини таҳлил қиламиз.

Бошқарувчи ўзгарувчилар сифатида: $\tau_{\text{пц}}$, F , $P_{\text{пит}}$, $\psi_{\text{прод}}$, $T_{\text{пит}}$, $P_{\text{мск}}$, $P_{\text{бск}}$ танлашимиз мумкин.

Бошқариш объектининг куйидаги коналлари кўриб чиқамиз:

$$\tau_{\text{пц}} \rightarrow c_{\text{мск}}, F \rightarrow c_{\text{мск}}, \psi_{\text{прод}} \rightarrow c_{\text{мск}}, T_{\text{пит}} \rightarrow c_{\text{мск}}.$$

2-бобда тадқиқ қилинган имитацион модель асаосида шуни такидлаш керакки, $c_{\text{мск}}$ (водород концентрацияси) $T_{\text{пит}}$ га етали даражада таъсир қила олмайди. Шунинг учун $T_{\text{пит}} \rightarrow c_{\text{мск}}$ канали бўйича бошқариш мақсадга мувофиқ эмас.



3.7-расм. Бошқариш объектининг функционал-структурвий схемаси схемаси

3-боб бўйича хулоса

Мазкур бобда қисқа циклли қиздирилмас адсорбция бўйича газ аралашмалари адсорбцион ажралишини бошқариш системасининг алгоритмини тузиш ва бошқариш объектининг функционал-структурвий схемаси ишлаб чиқилган.

ХУЛОСА

Моделлаштириш тадқиқот натижаси ва ҳаётийликни таъминловчи системаларни лойиҳалаштиришда самарали восита бўлмоқда. Математик моделларнинг долзарблиги узлуксиз равишда уларнинг мосланувчанлиги сабабли ортиб бормоқда.

Буюмларни технологик жиҳоз ва бошқарув системаларини хато ечим нархи юқори бўлганда моделлаштиришни қўллаш кўпроқ самара беради.

Замонавий ҳисоблаш техникасининг имкониятларидан фойдаланиш, факторларнинг кўп қирраллигини ҳисобга олувчи, ҳаётийликни таъминловчи истеъмолларга тадқиқ қилишда моделларнинг мураккаблигини оширишимкониятини беради.

Адсорбция жараёнининг фундаментал қонуниятлари асосида берилган ишда қисқа циклли қиздирилмас адсорбциянинг математик моделлаштирилиши кўриб чиқилди. Бу модел оптимал иш режимини танлашда ва қурилмани бошқариш система жиҳозларини лойиҳалашда асос бўлиб хизмат қилади.

Техника тараққиётининг ривожланиши ва ҳисоблаш техникаси имкониятларининг ўсиб боришини эътиборга олиб, моделлаштиришнинг кейинги тараққиётини интеллектуал ў ўзини мукаммаллаштирувчи моделлар яратиш йўналишида кўриш мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – М. : Химия, 1984. – 512 с.
2. Фенелонов, В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В.Б. Фенелонов. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 442 с.
3. Тимофеев, Д.П. Кинетика адсорбции / Д.П. Тимофеев. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 387 с.
4. Ruthven, D.M. Pressure Swing Adsorption / D.M. Ruthven, S. Farooq, K. Knaebel. – N.Y. : VCH, 1994. – 387 p.
5. Глупанов, В.Н. Получение кислорода и азота адсорбционным разделением воздуха / В.Н. Глупанов, Ю.И. Шумяцкий, Ю.А. Серегин. Сер. ХМ-4. – М. : ЦИНТИНЕФТЕМАШ, 1991. – 47 с.
6. Радужкевич, Л.В. Связь теории динамики адсорбции с термодинамикой неравновесных процессов / Л.В. Радужкевич // Труды третьей Всесоюзной конференции по теоретическим вопросам адсорбции. – М. : Наука, 1973. – С. 73 – 82.
7. Глупанов, В.Н. Получение кислорода и азота адсорбционным разделением воздуха / В.Н. Глупанов, Ю.И. Шумяцкий, Ю.А. Серегин, С.А. Брехнер // Промышленная и санитарная очистка газов. Обзорная информация.–М: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991.
8. Брунауэр, С. Адсорбция газов и паров / С. Брунауэр. – М. : Издательство, 1948.
9. Де Бур, Я. Динамический характер адсорбции / Я. Де Бур. – М. : Издательство, 1962.
10. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1984. – 831 с.

11. Акулов, А.К. Моделирование разделения бинарных газовых смесей методом адсорбции с колеблющимся давлением
/ А.К. Акулов. Дис. д-ра техн. наук. – СПб. : ГТУ, 1996. – С. 304.
12. Цеолиты, их синтез, свойства и применение : материалы II Всесоюзного совещания по цеолитам. – Л.-М. : Наука, 1965.
13. Миронова, В.А. Математические методы термодинамики при конечном времени / В.А. Миронова, С.А. Амелькин, А.М. Цирлин. – М. : Химия, 2000. – 384 с.
14. Опыт проектирования и эксплуатации адсорбционных установок : сб. ст. АН СССР. – М., 1971. – 243 с.
15. Лукин, В.Д. Циклические адсорбционные процессы / В.Д. Лукин, А.В. Новосельский. – Л. : Химия, 1989. – 254 с.
16. Aviation, Space and Environmental Medicine, 1985. – № 1. – P. 35 – 42.
17. Грег, С. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость / С. Грег, К. Синг. – М. : Мир. 1970. – 408 с.
18. Миркин, А.З. Трубопроводные системы : справочник / А.З. Миркин, В.В. Усиныш. – М. : Химия, 1991. – 256 с.
19. Брек, Д. Цеолитовые молекулярные сита / Д. Брек. – М. : Мир, 1976.
20. Гурвич, Л.Г. // ЖРФХО. – 1915 (47). – С. 805.
21. Устинов, Е.А. // Журнал прикладной химии. 1987 (60). – № 1. – С. 74 – 78.
22. Лезин, Ю.С., Дубинин М.М. // ДАН СССР, 1966. – Т. 171. – № 2. – С. 382 – 384.
23. Дубинин, М.М., Тодес О.М., Лезин Ю.С. // Изв. АН СССР. Серия хим. – 1970. – № 4. – С. 767 – 772.
24. Gluckauf F., Trans // Faraday Soc. – 1955. – V. 51. – N 11. – P. 1540 – 1551.
25. Vermeulen T., Ind // Eng. Chem. – 1953. – V. 45. – N 8. – P. 1664 – 1670.

26. Geser J., Ganjar L. // *AIChE Journal*. – 1962. – V. 8. – N 4. – P. 491 – 497.
27. Трепнел, Б. Хемосорбция / Б. Трепнел. – М. : Издательство, 1958. – С. 327.
28. Хайрер, Э. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи / Э. Хайрер, С. Нерсетт, Г. Ваннер. – М. : Мир, 1990. – 512 с.
29. Акулов, А.К. Динамика адсорбции бинарной смеси газов в случае стационарного слоя / А.К. Акулов, Е.А. Устинов // *Журнал прикладной химии*. – 1986. – № 6. – С. 1245 – 1248.
30. Кафаров, В.В. Системный анализ процессов химической технологии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов. – М. : Наука, 1976 – 499 с.
31. Устинов, Е.А. Моделирование циклических адсорбционных процессов разделения газов / Е.А. Устинов // *Журнал прикладной химии* – 1980. – Т. 53. – № 1. – С. 136 – 141.
32. Устинов, Е.А. Закономерности динамики циклических адсорбционных процессов разделения бинарных газовых смесей / Е.А. Устинов // *Журнал прикладной химии*. – 1980. – Т. 53. – № 9. – С. 2015 – 2021.
33. Kauser, J.C. Pressure swing adsorption: Experimental Study of equilibrium theory / J.C. Kauser, K.S. Knaebel. *Chem. Eng. Sci.* – 1986. – V. 41. – N 11. – P. 2931 – 2360.
34. Pressure swing adsorption for a system with a Freundlich isotherms / X. Lu, R. Madey, D. Rothstein, M. Jaroniec, J.C. Huang // *Separation science and technology*. – 1987. – V. 22. – N 6. – P. 1547 – 1556.
35. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. – М. : Энергия, 1968. – 424 с.
36. Архаров, А.М. Криогенные системы / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. – М. : Машиностроение, 1996.

– Т. 1. – 576 с.

37. Горбунов, М.Б. Создание экспериментальных установок и разработка методики исследования термодинамического

равновесия в системе N_2-O_2 – цеолит NaX применительно к задаче проектирования адсорбционных аппаратов разделения

воздуха : дис. ... канд. техн. наук / М.Б. Горбунов. – М. : МВТУ, 1984.

38. Вяхирев, Д.А. Руководство по газовой хроматографии / Д.А. Вяхирев, А.Ф. Шушунова. – М. : Высшая школа, 1975 – 304 с.

39. Прибылов, А.А. Адсорбционные явления при высоких давлениях и температурах / А.А. Прибылов, С.М. Калашников, В.В. Серпинский // Изв. АН СССР. – Сер. Хим. – 1990. – № 6. – С. 1233 – 1238.

40. Никифоров, Ю.В. Получение обогащенного кислородом воздуха методом безнагревной адсорбции / Ю.В. Никифоров, А.Н. Слыщенко // Вестник МГТУ. – 1996. – Вып. Криогенная и холодильная техника. – С. 27 – 33.

41. Sandaram, N. Pressure drop effects in the pressurization and blowdown steps of pressure swing adsorption / N. Sandaram,

P.C. Wankat. Chem. Engn. Sci, 1988. – V. 43. – N 1. – P. 123.

42. Путин, С.Б. Математическое моделирование, алгоритмы и системы управления процессом регенерации воздуха в

биотехническом комплексе : дис. ... канд. техн. наук. – Тамбов, 1999. – 191 с. ДСП.

43. Тихонов, А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. – М. : Гостехиздат. 1953. – 143 с.

44. Торочешников, Н.С. Динамика изотермической адсорбции в режиме параллельного переноса фронта сорбции / Н.С.

Торочешников, Н.В. Кельцев, Ю.И. Шумяцкий // Труды третьей всесоюзной конференции по теоретическим вопросам адсорбции. – М. : Наука, 1973. – С. 110 – 115.

45. Колбанцев, А.В. Математическое моделирование сорбционных процессов с обратными связями в системах, содержащих несколько аппаратов / А.В. Колбанцев, В.А. Колин и др. // Деп. в ВИНТИ. – 1983. – № 4228-83. – С. 1.
46. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс // Б. Банди; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.
47. Nilchan, S. On the Optimisation of Periodic Adsorption Processes / S. Nilchan, C.C. Pantelides. Adsorption. – 1998. – N 4. – P. 113 – 147.
48. Salil U. Rege, Ralph T. Yang Limits for Air Separation by Adsorption with LiX Zeolite, Ind. Eng. Chem.Res. – 1997. – N 36. – P. 5358 – 5365.
49. Ravi Kumar Vacuum Swing Adsorption Process for Oxygen Production – A Historical Perspective, Separation science and technology. – 1996. – N 31(7). – P. 877 – 893.
50. Громов, Ю.Ю. Моделирование и управление процессом регенерации воздуха в герметически замкнутом объеме / Ю.Ю. Громов, В.Г. Матвейкин, Б.В. Путин. – М. : ТОХТ, 1997. – Т. 3. – № 6. – С. 638 – 648.
51. Путин, С.Б. Вопросы математического моделирования и управления процессом регенерации воздуха / С.Б. Путин // Математические методы в химии и химической технологии : тез. докл. Междунар. конф. – Новомосковск, 1997. – Т. 2. – Сек. 1. – С. 87.
52. Keefer, G. Modular pressure swing adsorption apparatus Pat / G. Keefer. USA 20030070550, 2003. 53. Keefer, G. PSA with adsorbents sensitive to contaminants Pat / G. Keefer. USA 20020134246, 2002.
54. Keefer, G. Life support oxygen concentrator Pat / G. Keefer. USA 20010023640, 2001.

55. Hunter, Donald W. Valve device for P.S.A. or R.P.S.A. systems Pat / W. Hunter Donald USA 4877429, 1989.
56. Keefer, G. High frequency pressure swing adsorption Pat / G. Keefer. USA 6176897, 2001.
57. McCombs; Norman R. Capacity control system for pressure swing adsorption apparatus and associated method Pat. USA 5474595, 1995.
58. Frederick W. Vacuum pressure swing adsorption process Pat. USA 5415683, 1995.
59. Kulish, Stanley, Swank, Robert P. Rapid cycle pressure swing adsorption oxygen concentration method and apparatus Pat. USA 5827358, 1998.
60. Серпионова, Е.Н. Промышленная адсорбция газов и паров / Е.Н. Серпионова. – М. : Высшая школа, 1969. – 416 с.
61. Тарасов, В.С. Моделирование технологических процессов с распределенными параметрами : учебное пособие / В.С. Тарасов. – Л. : Химия, 1963. – 243 с.
62. Автоматизированное проектирование систем управления / под ред. М. Джамшиди и Дж.Ч. Хергета. – М. : Машиностроение, 1989. – 340 с.
63. Изерман, Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 542 с.
64. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
65. Лионс, Ж.Л. Оптимальное управление системами, описываемыми дифференциальными уравнениями в частных производных / Ж.Л. Лионс. – М. : Мир. 1975. – 349 с.
66. Месарович, М. Общая теория систем / М. Месарович, Я. Такахара. – М. : Мир, 1978. – 314 с.

67. Первозванский, А.А. Курс теории автоматического управления / А.А. Первозванский. – М. : Наука, главная редакция физ.-мат. литературы, 1986. – 616 с.
68. Рей, У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М. : Мир, 1983. – 386 с.
69. Трофимов, А.И. Автоматика, телемеханика и вычислительная техника в химических производствах / А.И. Трофимов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 216 с.
70. Туищев, А.И. Методы и средства компьютерного управления радиационным нагревом / А.И. Туищев. – М. : ГАСБУ, 1998. – 317 с.
71. Хасмамедов, Ф.И. Автоматизация управления трубчатыми печами / Ф.И. Хасмамедов. – М. : Химия, 1980. – 214 с.
72. Юревич, Е.И. Теория автоматического управления / Е.И. Юревич. – Л. : Энергия, 1969. – 376 с.
73. Бодров, В.И. Об имитационном исследовании и выборе систем автоматической стабилизации химико-технологических процессов / В.И. Бодров, В.Г. Матвейкин. – М. : ТОХТ, 1986. – С. 712.
74. Матвейкин, В.Г. Методы, алгоритмы и системы гарантированного оптимального управления химико-технологическими процессами: дис....д-ра техн. наук / В.Г. Матвейкин. – М., 1991. – 535 с.
75. Беллман, Р. Динамическое программирование и уравнения в частных производных / Р. Беллман, Э. Энджел. – М. : Мир, 1974. – 208 с.
76. Бояринов, А.И. Методы оптимизации в химической технологии / А.И. Бояринов, В.В. Кафаров. – М. : Химия, 1975. – 298 с.
77. Варга, Дж. Оптимальное управление дифференциальными и функциональными уравнениями / Дж. Варга. – М. : Наука, 1977. – 622 с.

78. Квакуернаак, Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакуернаак, Р. Сиван. – М. : Мир, 1977. – 656 с.
79. Справочник по теории автоматического управления / под. ред. А.А. Красовского. – М. : Наука, 1992. – 424 с.
80. Янг, Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления / Л. Янг. – М. : Мир, 1974 – 490 с.
81. Венцель, Е.С. Теория вероятности / Е.С. Венцель. – М. : Физ.-мат. литература, 1962. – 564 с.
82. Поспелов, Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Д.А. Поспелов. – М. : Наука. 1974. – 486 с.
83. Путин, С.Б. Математическое моделирование процесса газоформирования в биотехническом комплексе с использованием процесса адсорбционного разделения воздуха / С.Б. Путин, С.А. Скворцов. – Тамбов : Вестник Тамбовского университета, 2001. – Т. 6. – Вып. 4. – С. 434 – 437
84. Путин, С.Б. Разработка математической модели процесса адсорбционного разделения газовой смеси. Проблемы параметрической идентификации / С.Б. Путин, С.А. Скворцов // Труды ТГТУ : сб. науч. тр. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – Вып. 11. – С. 65 – 69.
85. Путин, С.Б. Математическое моделирование процесса разделения газовой смеси по методу короткоциклового безнагревной адсорбции / С.Б. Путин, О.В. Шейкин, С.А. Скворцов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9. – № 1. – С. 50 – 57.

ИЛОВА