

6.6

0-86

Т.А. ОТАҚҰЗИЕВ, Қ.М. АХМЕРОВ, С.М. ТУРОБЖОНОВ

# УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ



66  
0-86  
ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ  
ТОШКЕНТ КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

Т.А. ОТАҚЎЗИЕВ, Қ.М. АҲМЕРОВ, С.М. ТУРОБЖОНОВ

# УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

*Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги томонидан 5522400  
кимёвий технология ишлаб чиқариш турлари бўйича бакалаврият  
таълим йўналиши талабалари учун ўқув қўлланма сифатида  
тавсия этилган*

59436

ТОШКЕНТ  
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси  
«Фан» нашриёти  
2009

Мазкур ўқув қўлланмада кимёвий технология жараёнларининг умумий қонуниятлари, кимёвий реактор назарияси, ҳисоблари ва танлаш асослари ёрилган. Ишлаб чиқариш кимёвий технологик тизим сифатида қаралган бўлиб, унинг синтези ва таҳлилга эътибор берилган. Саноат микёсида олинувчи нефт маҳсулотлари, углеводородлар, полимерлар, ўғитлар, аммиак, кислоталар ва бошқа муҳим бирикмалар ишлаб чиқариш схемалари келтирилган. Китобхон диққати кўпроқ энерготехнологик тизимлар ва мавжуд маҳаллий ресурслардан тўла фойдаланиш концепциялари, техника хавфсизлиги ҳамда диагностикасига йўналтирилган.

Мазкур ўқув қўлланма олий техника ўқув юрларининг кимё ва кимёвий технология йўналишларида билим олаётган талабалар учун мўлжалланган бўлиб, ундан магистрантлар, аспирант ва илмий ходимлар ҳам фойдаланишлари мумкин.

Масъул муҳаррир:

ЎзРФА академиги *С. Тўхтаев*,

Тақризчи:

кимё фанлари доктори, профессор *Ҳ. Т. Шарипов*

**Т. А. Отақўзиев, Қ. М. Ахмеров, С. М. Туробжонов**

Умумий кимёвий технология. Ўқув қўлланма. – Т.: Ўзбекистон Республикаси ФА «Фан» нашриёти, 2009. – 432 б.

ISBN 978-9943-09-892-3

© Ўзбекистон Республикаси ФА«Фан» нашриёти, 2009 йил.

## КИРИШ

Технология деганда бирор саноат тармоғининг усул ва воситаларини (ишлаб чиқаришни) баён этиш тушунилади. Масалан, металлга ишлов бериш усули ва воситаси, машина ва аппаратларни тайёрлаш усул ёки воситалари машинасозлик технологияси фани асосини ташкил этади. Механик технология жараёнда механик таъсир билан ишлов берилаётган модданинг ташки кўриниши ёки физик хоссаларини ўзгартиради, аммо уларнинг кимёвий таркибига таъсир кўрсатмайди. Кимёвий технология жараёнлари табиатига кўра мураккаб кимёвий ва физикавий хоссаларига асосланган хом ашёнинг кимёвий қайта ишланишини ўз ичига олади.

Замонавий кимёвий технология табиий ва техника фанлари ютуқларидан фойдаланиб, физикавий ва кимёвий жараёнлар, машина ва аппаратлар, ушбу жараёнларнинг унумли усулларини амалга ошириш ва турли модда, маҳсулот, материал, буюмларни саноатда ишлаб чиқаришни бошқаришни ўрганади.

Кимёвий технология авваламбор физик-кимё, кимёвий термодинамика ва кимёвий кинетика фанларига асосланади, шу билан бир қаторда, ушбу фанларни йирик саноат жараёнларида қайтаради ва ривожлантиради. Шу боис кимёвий технологияни иктисод, физика, математика, кибернетика, амалий механика ва бошқа техника фанлари билан жуда яқин боғлиқлигисиз тасаввур қилиб бўлмайди. Фан ва саноатнинг ривожланиши кимё саноати корхоналари сонининг кўпайишига олиб келди. Мисол тариқасида ҳозирги кунда нефт асосида 80 мингдан ортиқ турли маҳсулотлар ишлаб чиқарилаётганини айтиш мумкин. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўсиши бир тарафдан, кимё ва техника фанларининг ривожланиши, иккинчи тарафдан кимёвий технологик жараёнларнинг асосини



ишлашга имкон берди. Изланишлар оркасида чикиндисиз технология ҳам яратилди.

Кимё саноати – халқ хўжалигининг етакчи тармоқларидан бири бўлиб, илмий-техник тараққиётни тезлаштиришга, ишлаб чиқариш самарадорлигининг ортишига, халқнинг моддий-маънавий таъминот даражасининг ортишига ҳал қилувчи таъсир кўрсатади.

Бугунги кунга келиб кимёвий маҳсулотлар ишлаб чиқаришнинг ортиши ва халқ хўжалигининг турли соҳаларида уларнинг ишлатилиши, ердан фойдаланишни жадаллаштириш, оғир саноатда илмий-техник тараққиётни тезлаштириш, қурилишда индустриал усулларни ривожлантириш, енгил саноатда ҳам ашё базасини кенгайтириш ва халқ истеъмол молларини ишлаб чиқаришда катта аҳамият касб этмоқда.

**Халқ хўжалигини кимёлаштириш** ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишда асосий омиллардан бири ҳисобланади. Кимёвий материалларни ишлаб чиқаришда табиий ҳам ашёлардан олинадиганига қараганда меҳнат ва энергетик сарфлар 2–3 мартагача камаяди.

Кимёвий технология жараёнларида ишлаб чиқаришни таъминловчи турли машина ва аппаратлар ишлатади. Ушбу жараёнларда ишлатиладиган жиҳозлар сони 12 минг ном ва турли ўлчамлардан ошиб кетди. Бу суюқ бирхиллашмаган аралашмаларни ажратиш учун зарур бўлган аппарат ва қурилмалар (фильтрлар, центрифуга, марказдан қочма сепараторлар, тиндиргич ва бошқалар), иссиқлик ва масса алмаштириш аппаратлари (иссиқлик алмаштиргичлар, буғлантиргичлар, кристаллагичлар), майдалаш, синфлаш ва материалларни улушлаш тузилмалари, аралаштиргичлар, полимерларни қайта ишлаш жиҳозлари, ҳавони ажратиш учун ишлатиладиган аппаратлар, совутгич қурилмалар, газ тозаловчи ва чанг ушлагич жиҳозлар, компрессорлар, насослар ва арматуралар ишлатади. Этилен ва пропилен ишлаб чиқаришда ишлатиладиган биргина қурилма 40 та турли колонна, 250 та иссиқлик алмаштиргич, 50 та сифимли аппаратлар, пиролиз печи, турли коммуникациялар, назорат ўлчов асбоблари ва ягона технологик линия билан боғланган автоматлаштириш воситаларидан иборат эканлигини айтиб ўтиш жоиздир.

Сўнги йилларда кимё ва нефт машинасозлиги тармоқ корхоналарида кўп миқдорда юқори унумли жихозлар ва технологик линиялар, комплекс ва қурилмалар яратилди. Машина қувватларини ошириш амалга оширилмоқда. Кимё, микробиология, целлюлоза, қоғоз, нефт кимёси саноати тармоқлари, ёқилғи-энергетик, металлургия ва агросаноат комплекслари учун кўп тоннали линиялар барпо қилинмоқда.

Ривожланган мамлакатлар тажрибаси саноат ишлаб чиқаришнинг умумий ҳажмида кимё маҳсулотлари улушининг ортиши илмий техникавий кўрсаткичларидан бири эканлигини исботлади. Бу шароитда биринчи галдаги вазифа танлашда кимёвий ишлаб чиқаришни экологик тозаллиги ҳисобланади. Кимёвий технологик жараёнлар учун самарали машина ва аппаратлар ишламаларини ишлаб чиқаришга бағишланган муаммоларни ечишда асосий муаммолардир.

Кимёвий технологиянинг етакчи тенденцияларидан бири углеводородлар ва сланецларни кимёвий қайта ишлаб, янги турдаги маҳсулотлар ҳамда кўп мақсадли хом ашёларни ишлаб чиқаришнинг йирик масштаби корхоналарини вужудга келтиришдан иборатдир. Бундай маҳсулотлар сирасига молекуляр водород, аммиак, гидразин, метанол, дефолиантлар, органик ўғитлар ва ўсимликларни химоя қилиш воситалари қиради. Бу моддалар ичида алоҳида ўринни водород эгаллайди. Ўта тоза ва амалда тугамайдиган манба сув ҳисобланади. Сувдан водородни олиш ва техникада ундан кенг қўламда фойдаланиш стратегик аҳамиятга молик масалалардан ҳисобланади.

**Аммиак ва метанол синтези, суюқ ва газсимон углеводородлар синтези (сунъий суюқ ёқилғи, метан), каттик ёқилғиларни гидрогазификациялаш, қора ва рангли металлларни тўғридан-тўғри қайтариш, металл кукунларини қовуштириб пишириш, авиация, автомобиль ва ракета ёқилғиси, газ турбиналари ва магнетогидродинамик генератор ёқилғиларидан, ўта перспектив технологик жараёнлардан фойдаланишни юқори поғоналарга кўтариш ҳам аини шундай вазифалардандир.**

Арзон водород мавжуд бўлганда углерод диоксидни тугалмас табиий захирали карбонат жинсларини гидрирлаш йўли билан ме-

танол, метан, углерод монооксида, суюк углеводородлар, мочевинаяга айлантириш мумкин.

Дунёнинг ривожланган мамлакатларида водород ишлаб чиқаришнинг йирик масштабли тежамли усулларини ва водород технологиясини яратиш устида изланишлар олиб борилмоқда. Сувдан водород олишнинг радиацион-кимёвий усули, айникса, юқори хароратли термоллиз билан биргаликда мужассамлашган технологияси келажакда катта аҳамият касб этади.

Енгил транспортланадиган ва энергия захирасини чексиз сақлайдиган водород ва метан хилидаги серэнергияли моддалар энергиясини аккумуляирловчи юқори самарали усулларни ишлаш мақсадида кимёвий энергетикага аҳамият кучайтирилмоқда. Водород технологиясидан фойдаланилганда экологик масалалар ва хом ашё муаммолари тўла бартараф этилади.

Кимёвий технология ва атом энергиясининг интеграцияси илмий-техникавий тараққиётнинг тезлашишига улкан таъсир кўрсатишига аминмиз.

Мухим муаммолардан бири тикланадиган манба бўлган хом ашё биомассадан кенг фойдаланиш ҳисобланади.

Биосферанинг 90 фоиз биомассасини ер юзидаги ўсимликлар ташкил қилади, қолган қисми эса сув ўсимликларига ва гетеротроф организмларга тўғри келади. Унинг умумий захираси Ер юзида 1836 млрд. тонна, яъни 27500 млрд. Гж энергиясига эга дёб ҳисобланади, бу эса 640 млрд. т. нефтга эквивалентдир. Дарахтлар, қишлоқ хўжалик экинлари ва сув ўсимликлари биомасса учун дастлабки манба ҳисобланади. Биомасса ўзининг таркиби бўйича углеродли (ўсимлик материаллари, дарахт пўстлоғи, дон, қоғоз, картоң идишлар, ўраб маҳсулотни жойлаштирадиган қоғозлар) ёки шакарли (шакар лавлагиси, шакар камиши, сорго) бўлиши мумкин. Биомасса йирик тикланадиган энергия манбаи бўлиб, водород, газсимон, суюк ва қаттиқ ҳолдаги углеводородлар кимёвий хом ашё олиш учун ишлатилишини такозо этади. Дунё ўрмонларининг ортиши фақатгина 50 млрд. тоннани ташкил қилади, бир йиллик фотосинтез маҳсулоти 57–10 тонна углеродга етади, бу эса инсоният истеъмол қиладиган энергиядан бир неча баробар ортиқдир. Сўнги йилларда биомассанинг кимёвий ва биокимёвий ёқилғига

ва органик синтез маҳсулотларига трансформацияси бўйича асосий йўллар белгиланди.

Биосферадан самарали фойдаланиш ва уни зарарли техноген жараёнлардан ҳимоя қилишнинг аҳамияти кундан-кунга ошиб бормоқда. Саноат ташламаларини зарарли аралашмалардан тозалашнинг такомиллашган ва янги самарали усулларини ишлашда кимёвий технологиянинг аҳамияти бекиёсдир. Замонавий технологиянинг муҳим масалаларидан бири атмосферага ва сув ҳавзаларига зарарли ташламаларни туширишни бартараф этувчи технологик жараёнларни ишлаб чиқишдир. Экологик муаммо масаласини ҳал қилишнинг бош йўналиши хом ашёдан комплекс фойдаланиш ва кам чиқитли технологик жараёнларни ҳамда чиқиндисиз ишлаб чиқаришларни тезлик билан жорий қилишдан иборат.

Ҳозирги вақтда муҳим фундаментал ва амалий тадқиқотлар сирасига куйидаги йўналишлар киради, деб ҳисоблаймиз:

– янги конструкцион ва функционал органик ва ноорганик материаллар (полимерли, композицион, керамик ва металллик), эластомерлар, сунъий ва синтетик толалар, шунингдек, уларни коррозия ва ейилишдан сақлаш усуллари;

– кимёвий хавфсизлик ва атроф-муҳит ҳимояси;

– янги модалар ва материаллар яратиш мақсадида нозик органик, ноорганик ва элементорганик синтез;

– янги юқори самарали кимёвий-технологик жараёнлар (шулар қаторида каталик, мембрана, металлургик, электркимёвий), шунингдек, юқори энергия ва кимёвий реакцияларни тезлаштирувчи физикавий усулларни қўллаш билан боғлиқ жараёнлар;

– минерал хом ашё, нефт, газ, қаттиқ ёнувчи қазилмаларни чуқур ва комплекс кимёвий қайта ишлаш бўйича янги жараёнлар;

– кимёвий энергетика ва янги кимёвий ток манбалари ҳамда энергияга айлантириш тизимларини барпо этиш;

– кимёвий таҳлилнинг инструментал янги усуллари, кимёвий мониторинг ва кимёвий жараёнларнинг, материал ва буюмларнинг кимёвий диагностикаси;

– кимёвий информация технология.

Янги технологик ғоянинг асосий белгиси физик-кимёвий, физик-математик, муҳандис-техник, иқтисодий, экологик ва маиший то-

монлари, ишлаб чиқаришни бошқаришни ягона деб қарайдиган илмий тизимли ёндашиш ҳисобланади. Бундай тушуниш кам босқичли (идеалда бир босқичли), ишончли, хавфсиз, кам энергияли, юқори унумли ва тежовчи, мунтазам ишловчи хом ашё ва мўлжалланган маҳсулотни ишлаш бўйича осон қайта қуриладиган корхоналарни барпо этишга қаратилган бўлиши керак. Бундай ишлаб чиқаришни барпо этиш технологик схемаларнинг аппаратуравий жойлашувини ўзгартириш, муҳитни ажратишнинг ўта янги тамойиллари ишланмасини яратиш, иссиқ ва масса алмашинувини жадаллаштириш, шунингдек, моделлашни кенг миқёсда жорий қилиш ва технологик схеманинг реактор қисмини, шунингдек, бутунлай технологик схемани оптималлаштириш билан узвий боғланган.

Мамлакатимизда кимё саноати тинимсиз ривожланмоқда. Мубо-рак газ конденсат заводи, Шўртан газ комплекси, Қўнғирот сода заводи, Қизилкум фосфоритларини бойитиш фабрикаси, Қоровулбозор, Олтиариқ нефтни қайта ишлаш заводи, Қўкон, Янгийўл, Андижон спирт заводлари шулар жумласидандир. Ҳозирги кунда Ватанимиз кимё саноати янада кенгайиб, ривожланиб бормоқда, халқ хўжалиги ва турмуш учун зарур бўлган ўнлаб хил янги маҳсулотларни ишлаб чиқаришни йўлга қўймоқда.

## 1.1. КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ

Технология ибораси юнунча «Technos» санъат, хунар ва «logos» билим, фан маъносини билдириб, хом ашёни фойдали маҳсулотларга айлантиришни кўзда тутуди. Дастлабки хом ашёларни қайта ишлаш ва олинган маҳсулотлардан фойдаланиш йўналишларига қараб металллар технологияси (уларнинг олиними ва ишлов берилиши), машинасозлик технологияси (машиналарни ва аппаратларни тайёрлаш, озик-овқат технологияси (озик маҳсулотлари олиш) ва бошқаларга бўлинади. Бундан технологиянинг синфланиши саноат соҳаларига боғлиқлиги кўринади, аммо бунда аниқ чегара қўйиш бироз қийинлашади.

Кимёвий технологияда моддаларнинг таркиби, хоссалари ва тузилиши бутунлай ўзгаришига олиб келинадиган кимёвий ва физик-кимёвий жараёнлар орқали қайта ишлаш амалга оширилади.

Кимёвий технология – техник, иктисодий ва ижтимоий жихатдан маъқул йўл билан кимёвий ишлаш орқали ишлаб чиқариш воқиталари ҳамда зарур предметлар етказишнинг усуллари ва жараёнлари ҳақидаги табиий амалий фандир.

Фан сифатида кимёвий технология ўзининг ўрганиш предмети – кимёвий ишлаб чиқариш; ўрганиш мақсади – инсонга зарур маҳсулотларни ишлаб чиқаришнинг мақсадга мувофиқ усулини яратиш; тадқиқот усуллари – тажрибавий, моделлаштириш ва системали таҳлил йўлларига эгадир. Табиий жамиятшунослик фанларидан фарқли ўлароқ кимёвий технология моддий ходиса ва объектларни ўрганади, ишлаб чиқаришга суянади. Мазкур фан ўзида кимёвий ўзгаришлар, физик-кимёвий хосса ва ходисалар, физик кўчишлар, математика, механика, иктисодиёт ва бошқа фанлардан маълумотлар ҳамда алоҳида ходисалар ҳақидаги билимларни мужассамлаш-



тиради. Демак, кимёгар-технолог қатор илмий соҳалардан хабардор бўлиши талаб қилинади. Бу ҳақда Д.И.Менделеевнинг «Усуллар ҳақидаги...» фикрининг амалиётни билиш ҳодиса ва нарсаларнинг моҳиятини илмий тушунишда ёрдам бериши ҳақидаги сўзларини эслаб ўтиш мақсадга мувофиқдир.

Кимёвий технология усуллари саноатнинг металлургия, транспорт, электроника, энергетика, қурилиш, машинасозлик, авиасозлик каби ва бошқа кўплаб соҳаларда кенг тарқалганлиги маълум. Қишлоқ хўжалиги, медицина, фармацевтика соҳалари ҳам бундан мустасно эмас. Бундан кимёгар-технологнинг саноатнинг ноқимёвий соҳаларида ҳам роли ортаётганлиги кўринади.

Кимёвий технология нафақат фан соҳаси бўлибгина қолмай, балки маълум маъсулотни олиш усули ёки ишлаб чиқариш (сульфат кислота технологияси, аммиак технологияси, нефт ва газ технологияси ва ҳ.к.)ни ҳам кўзда тутди ёки хом ашё олиш ёки қайта ишлаш усули (мембрана технологияси – мембрана ёрдамида аралашмаларни ажратиш, плазма технологияси – моддани плазма ёрдамида қайта ишлаш ёки ишлов бериш)ни амалга оширади.

Ҳозирги вақтда кимёвий технология йўналишлар бўйича қуйидагича синфланади:

#### **А. Ноорганик кимёвий технология**

1. Асосий аорганик синтез – кислоталар, ишқорлар, тузлар ва минерал маҳсулотлар ишлаб чиқариш;
2. Нозик органик синтез – ноорганик препаратлар, реактивлар, нодир элементлар, электроника материаллари, доривор препаратлар ва бошқалар;
3. Ядро-кимёвий технология;
4. Металлургия – қора ва рангли металллар ишлаб чиқариш;
5. Силикат саноати – боғловчи материаллар, керамик буюмлар, шиша ишлаб чиқариш.

#### **Б. Органик кимёвий технология**

1. Нефт ва газни қайта ишлаш – газсимон, суюқ ва қаттиқ табиий углеводородларни бирламчи қайта ишлаш (бирламчи ажратиш, тозалаш);
2. Нефткимёвий синтез – газсимон, суюқ ва қаттиқ углеводородларни қайта ишлаш асосидаги органик маҳсулотлар ва яриммаҳсулотлар;

3. Асосий органик синтез – углеводород хом ашёси асосидаги органик маҳсулотларни ишлаб чиқариш;
4. Биотехнология – озиқа ачиткиси, аминокислоталар, ферментлар, антибиотик ва бошқалар ишлаб чиқариш;
5. Нозик органик синтез – органик препаратлар, реактивлар, дори-дармонлар, ўсимликларни химоя қилиш воситалари ва бошқаларни ишлаб чиқариш;
6. Юқори молекуляр технология – юқори молекулали бирикмалар олиш (синтетик каучук, пластмассалар, кимёвий тодалар, плёнка ҳосил қилувчи моддалар);
7. Ўсимлик ва жониворлар хом ашёсини қайта ишлаш технологияси.

Юқорида келтирилган кимёвий технологиянинг синфланиши технологиянинг умумий синфланиши сингари шартли эканлиги кўринади. Мазкур синфланишдаги хом ашёни маҳсулотга айлантириш жараёнида қатанашувчи моддаларнинг таркиби, хossalари ва тузилиши бутунлай ўзгариб кетади – бунда кимёвий ёки физик-кимёвий айланиш (жараён) рўй беради, лекин металлургия, силикатлар ишлаб чиқариш, биотехнология, ўсимлик ва жониворлар хом ашёсини қайта ишлаш «нокимёвий» sanoат тармоқлари ҳисоблансада, унга ёндашувни эслатиб ўтиш зарур бўлади.

## **1.2. КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ РИВОЖЛАНИШИ ҲАҚИДА ҚИСҚАЧА МАЪЛУМОТ**

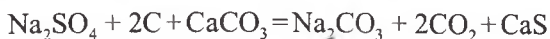
Табиат инъомларидан ҳисобланган сув, олов, минераллар, ўсимлик ва ҳайвон хом ашёси қадимий одамлар томонидан қайта ишланиб, ўз эҳтиёжларига зарур бўлган нарсаларга айлантириш ҳозирги кимё деб аталувчи фан базаси бўлиб хизмат қилди. Наслдан-наслга ўтиб келган хунармандчилик сирлари вужудга келди, бу эса ўз навбатида технологиянинг яралишига олиб келди. Дастлабки технологиялар хунар-промысел – sanoат занжирида ташкилий шаклларда ривожланиб, асосий компонентлар сифатида хом ашё – энергия (иссиқлик) – ўзаро таъсир – ажратиш (тозалаш) бўлиб қолди. Мазкур занжирларнинг сирли синалмаган қисми жараённи ўтказиш ҳамда ўзаро таъсир механизмини билиш (яъни, кимёвий реакция) бўлиб қолди.

Антик давр одамлари олтингугурт, сода, сирка, ёндирувчи аралашмалар, ўсимлик бўёқлари ва мойларидан фойдаланганликлари маълум. Қадимги Хитойда қоғоз, бўёқлар, шакар олиш, финикияликлар пурпур, хиндулар шарбатларни буғлатиб маҳсулотлар тайёрлашни билганлар. Қадимий хунармандлар бугун маълум бўлган гидравлик, механик, иссиқлик, диффузион, кимёвий ва биокимёвий жараёнлардан фойдаланарди. XIV асрда Европада порох ишланди.

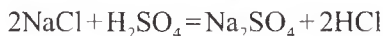
Миср, хитой, араб, европалик алхимёгарлар янги маҳсулотлар ҳисобланмиш сульфат кислота, нитрат кислота, арсенат кислота, сулема, новшадил спирт ва бошқалар олишни йўлга қўйишди. Улар қимматбаҳо металллар ва фармацевтик кимё йўналишларини вужудга келтиришга муваффақ бўлишди. Қадимий хунармандлар ишлари асосида синтезлар қилиш, буларни тартибга солиш, системалаштириш, вақти келиб, кимёнинг фан сифатида ривожланишига туртки берди. Араб алхимёгари Абу ар-Розий ўзининг «Сирлар китоби»да (X аср) турли кимёвий ускуналар ва жараёнларни тасвирлади, моддаларнинг тупроқ минералли, ўсимлик ва ҳайвон хом ашёларига бўлинган классификациясини яратди, кальцинациялаш, эриш, қуюлтириш, филтрлаш, дистиллаш ва амальгамалаш жараёнларини тушунтириб берди.

Ўрта асрларда Ўрта Осиёда, жумладан, Ватанимизда кулчилик, керамика, турли бўёқлар, сирка, шарбат, шароб, газмол ва бошқа маҳсулотларни ишлаб чиқариш йўлга қўйилган эди. Жобир ибн Хайём шогирдлари Самарқанд, Бухоро, Хива ва бошқа шаҳарларда тажрибалар ўтказиб, алхимёнинг ривожига ўз ҳиссаларини қўшганлари маълум. XIX асрда Тошкентда сувни таҳлил қилувчи лаборатория ташкил қилинганлиги маълум. Заргарларимиз турли тошлар, қимматбаҳо металллар ва бошқа хунармандчилик буюмларини дунё бозорига олиб чиққанларини тарихдан биламиз.

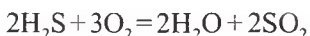
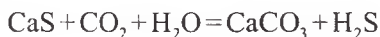
XIX асрда дунёнинг қатор мамлакатларида сифатли кимёвий маҳсулотлар ишлаб чиқарила бошланди. Бунда француз кимёгари Н.Леблан томонидан 1789 йили синтетик соданинг қуйидаги йўл билан олиниши катта аҳамиятга эга бўлди:



Мазкур реакция саноат учун стишмовчи натрий сульфатни ишлаб чиқаришга сарфланадиган сульфат кислота саноатининг кенгайиши ва ривожланишига тўртки бўлди:



Ҳосил бўлувчи қўшимча маҳсулот – водород хлоридни ишга солиш орқасида хорид кислота ишлаб чиқариш саноати вужудга келди. Кейинроқ сода ишлаб чиқаришда ҳосил бўлувчи қаттик ва газсимон чиқиндиларни саноат микёсида ишлатиш муаммоси ҳал қилинади:



Бунда ажралувчи  $\text{SO}_2$  гази сульфат кислота олишга йўналтирилди. Ушбу жараён олтингурурут бўйича ёпик занжир ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{CaS} - \text{H}_2\text{S} - \text{SO}_2 - \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ни ташкил этди ва чиқинди бўлган  $\text{CO}_2$  ни ҳам ишга солди.

Ердан қишлоқ хўжалигида унумли фойдаланиш борасидаги уринишлар минерал ўғитлар технологиясининг вужудга келишига асос бўлди. Аввалига фосфатли, кейинроқ калийли ва охирида азотли ўғитларнинг қатор хиллари ишлаб чиқарила бошланди. Азот асосидаги ўғитлар захираси беҳисоб бўлган ҳаво азотини ишга солишга олиб келди.

Аммиак ( $\text{NH}_3$ )ни Габер-Бош усули бўйича олиш технологиясининг яратилиши кимёвий технологиянинг ривожланишида янги босқич бўлди. Стехиометрик тенгламалар устидаги тадқиқотлар ривожлантирилиб, технологик жараёнларни саноатда қўллаш учун муҳим бўлган реакция тезликларини аниқлашнинг термодинамик ва кинетик ҳисобларини бажариш амалга оширилди. Ватанимизда кимёвий технология фани ва саноатини ривожлантиришга Ўзбекистон Республикаси ФА академиги М.Н.Набиев катта ҳисса қўшди. Олим шогирдлари Ўзбекистонда хизмат кўрсатган фан ва техника арбоби, техника фанлари доктори, профессор Ф.М.Мирзаев, Ўзбекистон ФА академиклари Б.М. Беглов ва С.Т. Тўхтаевлар ёш технологларимизни тарбиялаб етиштиришда тинимсиз ишлаб келмоқдалар. Юқорида номлари зикр этилган олимларимиз XX асрда мамлакатимизда қурилган йирик кимё корхоналарида янги

технологияларнинг жорий этилиши, ўзлари яратган технологияларни амалиётга татбиқ этиш, технология фанини ривожлантириш ва такомиллаштиришга катта ҳисса қўшиб келмоқдалар. Улар ёзган янги дарслик, монография ва илмий мақолалар ёшларга янги технологик усулларни ўрганишда қўл келмоқда, маслаҳат ва фойдали йўлларни ўрганишга ундамоқда. Мазкур қўлланма ҳам шу йўлдаги уринишлардан биридир.

### 1.3. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Кимёвий технологиянинг тадқиқот объекти бўлиб кимёвий ишлаб чиқариш хизмат қилади.

Кимёвий ишлаб чиқариш – машина ва ускуналар ёрдамида хом ашёни зарур маҳсулотларга айлантиришдаги жараён ва операциялар жаммуасидир.

Кимёвий ишлаб чиқаришга қуйидаги талаблар қўйилади:

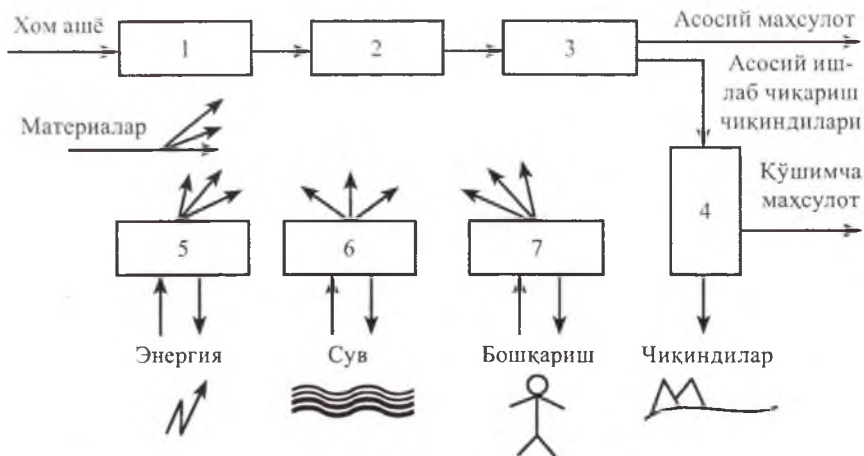
- ишлаб чиқаришда зарур маҳсулотларни олиш;
- экологик хавфсизлик;
- эксплуатация қилишдаги хавфсизлик ва мустаҳкамлик;
- хом ашё ва энергиядан максимал фойдаланиш;
- меҳнат унуми максимал бўлиши.

Кимёвий ишлаб чиқаришнинг асосий вазифаси маҳсулот олиш бўлиб, бунда кимёвий ишлаб чиқаришнинг кўп функционаллиги ҳисобга олинади.

Кимёвий ишлаб чиқариш 1.1-расмда келтирилган функционал қисмларни ўз ичига олади:

1.1-расмдаги 1–3-позициялар – хом ашёни маҳсулотга айлантирувчи кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўзи. Бу ердаги 1-позиция хом ашёни олдиндан тайёрлаш, яъни уни майдалаш, аралашмалардан тозалаш, компонентларни аралаштириш ва бошқаларни ўз ичига олади. Хом ашёни тайёрлаш унинг хили ва айлантириш шароитига боғлиқдир.

Тайёрланган хом ашё бир неча ўзгаришлардан ўтиб (2 позиция), ишлаб чиқаришнинг зарур маҳсулотига айланади. 3-позицияда табиий хом ашёлар таркибида мавжуд бўлган аралашмаларни асосий маҳсулотдан ажратиш ва улардан тозалаш кўзда тутилади. Хом



1.1-расм. Кимёвий ишлаб чиқариш структураси ва функционал элементлари:  
 1 – хом ашё тайёрлаш; 2 – хом ашёни қайта ишлаш; 3 – маҳсулотларни ажратиш;  
 4 – чиқиндининг санитар ишланиши ва утилизацияси; 5 – энергетик система;  
 6 – сув тайёрлаш ва ёрдамчи материалларни тайёрлаш; 7 – бошқариш тизими.

ашёдан ажратилган чиқинди ёки нокерак маҳсулотлар ўз навбатида зарарли, атмосферага чиқариб юборилганда уни бузувчи ёки фойдали моддаларни сақлаши мумкин, уларни ташлаб юбормаслик зарур бўлади. Шу боис кимёвий ишлаб чиқаришнинг муҳим хусусиятларидан бири санитар тозалаш ва ишлаб чиқариш чиқиндиларидан фойдаланиш ҳисобланади.

Санитар тозалаш ёки чиқиндиларни зарарсизлантириш орқали захарли таркибларни йўқотиш билан атмосферани бузмасликка эришиш амалга оширилади. Ишлаб чиқаришнинг чиқиндиларини ишлатиш ва йўқотишда корхона жойлашган ҳудуднинг ва умуман атроф-муҳитнинг экологик вазиятини ҳисобга олган ҳолда иш тутмоқ лозим бўлади. Ажралаётган чиқинди ва иккиламчи маҳсулотлардан мақсадли фойдаланиш энг рационал йўл ҳисобланадики, бу билан ташланаётган кимёвий моддалар миқдори камайтирилади, бу эса ҳар қандай корхона учун аини муддаодир. Хом ашёни тайёр маҳсулотга айлантиришда энг кўп энергияни кимё саноати ишлатади, бунда энергетик ресурсларнинг 15 фоизи сарфланади. Шу боисдан кимёвий ишлаб чиқаришда энергетик тизим муҳим ўринни эгаллайди (5-позицияга қаранг). Сарфланаётган



энергия тўғридан-тўғри маҳсулот олишга эмас, балки уни ишлаб чиқаришга сарфланади. Баъзи жараёнлар энергия ажралиши билан боради (экзотермик реакцияларда), шунинг учун ҳам энергияни ишлаб чиқариш босқичларига керагича таркатган ҳолда ундан хом ашёни ишлашда қайтадан ишлатишни ўйлаш керак. Энергия билан бир қаторда кимёвий ишлаб чиқаришда ёрдамчи материаллар ҳам ишлатилади. Буларга маҳсулотларни ажратиш ва тозалашда зарур бўлган сорбентлар, реакция муҳитини юмшатовчи нейтрал реагентлар (интергазлар ва бошқалар) киради. Бундай моддалар ичида сув асосий ўринлардан бирини эгаллайди, чунки у технологик тизимлардаги оқимни совутишда, буғ ишлаб чиқаришда, уларни эритиш ва суюлтиришда кўплаб қўлланади. Расмдаги 6-позициядан ёрдамчи материалларни ва айниқса ишлатилувчи сувни тайёрлаш кимёвий ишлаб чиқаришнинг муҳим ва мураккаб қисмларидан эканлиги кўринади. Мураккаб кимёвий ишлаб чиқаришни бошқариш ҳам зарурдир (расмнинг 7-позициясига назар солинг). Бунда ишлаб чиқаришни назоратда тутиш, жараённи кўзда тутилган шароитда ушлаб туриш, нохуш ҳодиса (авария)лардан асраш ва зарурат туғилганда мураккаб тизимни тўхтатиш амалга оширилади. Бу технологик жараённи бошқариш тизимини автоматлаштиришдир. Энди кимёвий ишлаб чиқаришнинг компонентларига тўхтаб ўтсак бўлади.

**Ўзгарувчан компонентлар** доимий ёки ишлаб чиқаришда ҳосил бўлади. Буларга: қайта ишлашга мўлжаллаган хом ашё; ёрдамчи материаллар; асосий ва қўшимча материаллар; ишлаб чиқариш чиқиндилари; ишлаб чиқариш ҳаракатини таъминловчи энергия киради.

**Доимий компонентлар** ишлаб чиқаришга доимий қилиб ўрнатилади (жихозлар, конструкциялар ва унинг ишида қатнашувчи ишчи-хизматчиларни ўз ичига олади). Буларга яна қуйидагилар киради:

- ускуналар (машиналар, аппаратлар, идишлар, қувурлар, арматура);
- назорат ва бошқариш жихозлари;
- қурилиш конструкциялари (бинолар, иншоотлар);
- хизматчилар (ишчилар, аппаратчилар, муҳандислар ва ишлаб чиқаришнинг бошка ишчилари).

Ишлаб чиқаришнинг ишдаги бирлигини таъминловчи **кимёвий корхона таркибини** кўриб чиқамиз. Буларга қуйидагилар киради:

- кимёвий ишлаб чиқаришнинг ўзи;
- хом ашё захираси, тайёр маҳсулот ва бошқа материаллар омборхонаси;
- хом ашё, маҳсулотлар, оралик моддалар, чиқиндиларни транспортировка қилиш;
- ишлаб чиқариш бўлимлари хизматчилари;
- бошқариш, таъминот ва хавфсизлик таъминоти.

Омборхоналар мавжуд бўлиши заруратдир. Ишлаб чиқаришда узилишлар бўлмаслиги, корхонанинг узлуксиз ишлаб туриши омборхона захирасига боғлиқдир. Баъзан омбор ва омборхоналар мураккаб иншоотлар сифатида қурилишни талаб этади. Масалан: нитрат кислота саноатида хом ашё бўлган аммиак суюқ ҳолатда 1–2 МПа босимда сақланади (унинг газ ҳолдаги ҳажми етти-саккиз минг барабар юкоридир). Суюқ аммиакнинг буғланишини ҳам ҳисобга олишга тўғри келади, чунки у омборни ёриб юбориши ҳам мумкин. Шунингдек, омборхонада маълум ҳароратни сақлаган ҳолда буғланган аммиакни суюқликка айлантириб, ўз жойига қайтариб туриш тақозо этилади. Ҳатто ўғитларни сақлашда ҳам маълум қоидаларга риоя қилиш керак.

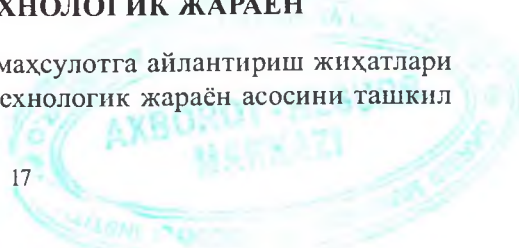
Агар омборхоналар нам ёки талабларга жавоб бермайдиган ҳолатда бўлса, унда ўғитлар ёпишиб қолиши, ишдан чиқиши ёки босилиб кетса, нохуш ҳодисаларга олиб келиши мумкин. Ёнувчи ёки захарли маҳсулотларни эса махсус омборхоналарда сақлаш талаб этилади (масалан, ишқорий металллар, ишқорий-ер металлари ва ҳоказолар). Бундай омборхоналарга техника хавфсизлиги, механизациялаш ва жараёнларни автоматлаштириш бўйича катта ҳамда масъулиятли талаблар қўйилади.

Ишчи-хизматчилар хавфсизлиги маъмурият томонидан тасдиқланган норматив документлар асосида таъминланади.

#### 1.4. КИМЁВИЙ-ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁН

Хом ашё ва материалларни маҳсулотга айлантириш жиҳатлари ҳамда жараёнлари йиғиндиси технологик жараён асосини ташкил этади.

59436



*Кимёвий-технологик жараён* – дастлабки ашёларни мақсадли равишда маҳсулотга кетма-кет равишда айлантириш жараёни бўлиб, кимёвий ва физик-кимёвий жараёнларнинг мужассамлашувидир.

Бунда азот билан водороддан аммиак синтезида тушунтирамиз. Аммиак  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$  реакцияси амалга ошириш натижасида ҳосил бўлади. Жараён 700-850 К ва 30 МПа босимда олиб борилди. Бунда физик-кимёвий босқич бўлган конденсация, яъни ҳосил бўлган аммиакни ажратиш олиш зарур бўлади. Реакцияга киришмай қолган азот билан водород реакторга қайтарилди. Босимни ошириш ва газлар циркуляцияси учун уларни сиқиб механик жараён ҳисобланади. Бунда амалга оширилувчи оқимни иситиш ва совутиш эса иссиқлик алмашиниш жараёнига кирилади. Азот билан водороддан кўрсатилган босқичларни кетма-кет амалга ошириш орқали аммиак олиш йиғиндиси аммиак синтезининг кимёвий-технологик жараёнидир.

Азот ва водород олиш учун, аввало, сув ва табиий газдан водородни синтез қилиш керак, азот эса ҳаводан олинади. Табиий газ, сув ва ҳавони аммиакка айлантиришдаги босқич ҳамда жараёнлар йиғиндиси табиий материаллардан аммиак ишлашнинг кимёвий-технологик жараёнидир. У ўзининг бир қисми сифатида аммиак синтезининг кимёвий-технологияси жараёнини бириктиради. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг функционал элементлари сифатида кимёвий-технологик жараёнларга 1–4 босқичларни киритиш мумкин, бунда асосан ҳам ашё маҳсулотга қайта ишланади.

Тўла ҳолдаги кимёвий-технологик жараённи асосий бажарилувчи ишга қараб туриб бир неча турга бўлиш қабул қилинган.

**Механик ва гидромеханик жараёнлар** – материалларни кўчириш, улар шаклини ва катта-кичиклигини ўзгартириш, қисил ва кенгайтириш, оқимларни аралаштириш ва бўлишдан иборат. Булар ишланаётган материалнинг кимёвий ва фазавий таркиби ўзгармаган ҳолда амалга оширилади. Бунинг учун корхоналарда транспортёрлардан, тош майдалагич, диспергаторлар, қолиплар, компрессор, насос, аралаштиргич ва филтёрлардан фойдаланилади.

**Иссиқлик алмашинув жараёнларда** – иситиш, совутиш ва фазавий ҳолатни ўзгартиришдир. Бунда «кимёвий ва фазавий таркиб ўзгармайди. Мазкур жараёнлар иссиқлик алмаштиргичлар,

қайнатгичлар, конденсатор, эритгич ва сублиматорларда амалга оширилади.

**Масса алмашинув жараёнлари** – контактлашувчи фазаларнинг компонент таркиби ўзгарган ҳолда кимёвий таркиб тубдан ўзгармай қоладиган фазалараро жараён. Булар эриш, кристалланиш, қуритиш, дистиллаш, ректификация, абсорбция, экстракция, десорбциялаш жараёнлари бўлиб, тегишлича аппаратлар бўлган қуритгичлар, дистиллятор, ректификатор, адсорбер, экстрактор ва десорберларда олиб борилади.

**Кимёвий жараёнлар** – кимёвий реакторларда кимёвий таркибнинг тубдан ўзгариши.

Булардан ташқари кимёвий жараёнларда ишлатилувчи турбина, генератор ва моторлардаги **энергетик жараёнлар** (иссиқлик, механик, электр каби)да турли энергия турларининг бир-бирига айланиши ҳамда **бошқариш жараёнлари** (оқимлар ва моддалар ҳолати) буларнинг таркиби ўзгариши ҳақидаги ахборотни билиш ва узатиш ҳам муҳим аҳамият касб этади. Бошқариш жиҳозларига датчиклар, сигнал ва ахборот тизимлари, клапан, задвижкалар, вентиллар, автоматик бошқариш тизимлари ва ҳоказолар киради.

Кимёвий-технологик жараённинг алоҳида жараёнлари ва буларнинг мажмуасини кузатиш корхона кимёгар-технологининг асосий касбий хизмат фаолияти ҳисобланади.

## 1.5. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ ВА КИМЁВИЙ-ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁН КЎРСАТКИЧЛАРИ

Корхонанинг техник кўрсаткичлари кимёвий-технологик жараён сифатини белгилайди. Ишлаб чиқаришнинг фойдали ва самарали эканлигини, технологик жараённинг замон талабидалигини аниқлаш учун зарур кўрсаткичлар бир неча гуруҳларга ажратилади.

**Ишлаб чиқариш унуми (қуввати)** – олинаётган маҳсулот ёки қайта ишланаётган хом ашёнинг вақт бирлигидаги миқдоридир:

$$y = \frac{M}{t}$$

бу ерда  $y$ – унум;  $M$  – олинаётган ёки қайта ишланаётган хом ашёнинг  $t$  вақтдаги миқдори.

Одатда унумни 1 соат ёки 1 суткада ишлаб чиқарилган маҳсулот миқдори билан инфодаланади, бунда ишлаб чиқаришнинг тўхтамасдан ишлаш режимидаги максимал имконига қаралади. Узок вақт иш даври, масалан, йиллик унумда ишлаб чиқариш режа асосида тўхташлари ҳисобга олинади. Шуларни ҳисобга олиб, кимёвий ишлаб чиқариш учун йиллик унум соат ёки суткага боғлаб 8000 соат ёки 330 сутка қилиб белгиланади.

«У»нинг катталиги ҳар бир ишлаб чиқаришга боғлиқдир. Катта корхона йилига ўнлаб ёки юзлаб тонна маҳсулот чиқаради. Масалан, сульфат кислота саноатида йилига ўртача 360–500 минг тонна (суткасига 1080–1500 тонна), аммиак саноатида 450 минг тоннагача (суткасига 1360 тонна) маҳсулот ишлаб чиқарилади. Нефтни бирламчи ишлаш ускунаси йилига 2 миллион тоннагача бўлган хом ашёни ишлатади. Кам тоннажли ишлаб чиқаришда эса (реактивлар, тарқок металллар, органик синтез маҳсулотлари) унум соатига килограмм ва ҳатто граммларда ўлчанади.

**Сарфлаш коэффициенти** маҳсулот бирлигини ишлаб чиқариш учун сарфланган хом ашё, материалар ёки энергияни англатади. Унинг катталиги [хом ашё килограмми/маҳсулот тоннада], [ $m^3$  хом ашё/килограммдаги маҳсулот], [кал/т маҳсулот] ва ҳ.к.ларда аниқланилади. Сарфлаш коэффициенти маҳсулот ишлаб чиқаришга кетган харажат миқдорини кўрсатади, аммо сарфланаётган компонентлар ишлатишининг самаралилигини ҳисобга олмайди. Бу қуйидаги кўрсаткич билан аниқланади.

**Маҳсулот чиқиши** – ишлатилган хом ашёдан олинган реал маҳсулот миқдорининг мазкур хом ашёдан максимал миқдорда назарий олиниши мумкин бўлган миқдорига нисбатидир.

Масалан, бир тонна нитрат кислотаси **ИЧЮЗ** олиш учун реал шароитда 296 кг аммиак ( $HNO_3$ ) сарфланади. Агар аммиак тўла равишда нитрат кислотасига айлантирилса, аммиакдан 270 килограмм старли бўларди. Маҳсулот чиқиши 91–93 фоиздир. Маҳсулотнинг тўла чиқмаслиги айланишнинг тўла эмаслиги, йўқотиш, аралашмалар борлигидандир.

**Жараён интенсивлиги** – аппарат ҳажм бирлигида қайта ишланган хом ашё ёки ҳосил бўлаётган маҳсулот миқдоридир. Мазкур кўрсаткич технологик аппаратда жараён боришининг интенсивли-

гини характерлайди ва жараённинг такомиллашганлигини белгилайди.

**Солиштирма капитал харажатлар** – корхона жихози сарфининг унум бирлигидаги ҳисобидир. Корхонанинг «ишга туширишдан олдин бир вақтнинг ўзида аппаратлар, машиналар, қувурлар, иншоот ва бошқалар учун сарф-харажатлар қилинади, булар капитал харажатлар ҳисобланади. Унум бирлигига ҳисобланган солиштирма капитал харажатлар алоҳида аппаратлар ва бутун корхонада жараённинг самарали ташкил қилиниши ҳамда конструкциялардан фойдаланишнинг такомиллашганлигини белгилайди. Мазкур кўрсаткич табиий кўрсаткичларда, масалан, суткасига тонна металллар/1000 т. маҳсулот ёки пул билан ифодланади.

Маҳсулот сифати унинг талабгорлик хусусияти ва товар сифатидаги қиммати билан белгиланади. Ҳар бир маҳсулот ўзига хос кўрсаткичга эгадир. У аралашма миқдори (таркиби ва миқдори), физик ва кимёвий кўрсаткичлар, ташқи кўриниш ва катта-кичиклиги, ранги, ҳиди ва бошқаларни ўз ичига олади. Норматив документлар (ГОСТ – давлат соҳа стандарти, техник шароит, сифат сертификати) билан аниқланади.

**Иқтисодий кўрсаткичлар** корхонанинг иқтисодий самарадорлигини белгилайди. Маҳсулот таннархи – маҳсулот бирлиги учун сарфланган харажатлар. Таннарх хом ашё, энергия, қўшимча материаллар; жихозга кетган бир вақтдаги сарф-харажатлар, капитал харажатлар; ишчилар меҳнати учун тўланган сарфни ўз ичига олади. Таннархнинг умумий структураси Т тенг:

$$T = (\Sigma B_i M_{ni} + kK_x + M_t) / M_m,$$

бу ерда,  $B_i$  ва  $M_{ni}$  –  $M_m$  миқдоридagi маҳсулот ишлаб чиқаришга сарфланган хом ашё, энергия ва материаллар баҳоси билан миқдори;  $K_x$  – капитал харажатлар;  $k$  – капитал харажатларни қоплаш коэффициенти (унинг улуши, маҳсулот миқдорининг ( $M_m$ ) корхона мавжуд бўлиш вақтига боғлиқлиги); кимё корхонаси учун  $k=0,15$  олинади (ўрта ҳисобда  $M_m$  нинг йиллик унумига қараб);  $M_t$  – меҳнат тўлови.

Таннарх пулда ифодланади.

**Меҳнат унуми** – вақт бирлигида (одатда бир йилда) бир ишчига ҳисоб қилинганда маҳсулот миқдори бўлиб, корхона меҳнат сарфининг самаралилиги кўрсаткичидир.



Иктисодий кўрсаткичлар техник кўрсаткичлар асосида ҳисобланади. Булардан баъзилари (унум, сарф-харажатлар коэффициентлари, солиштирма капитал харажатлар) пул ҳисобида юритилиши мумкин. Булар ва иктисодий кўрсаткичлар техник-иктисодий кўрсаткичлар деб юритилади.

**Эксплуатацион кўрсаткичлар** кимёвий-технологик жараёнларда ва корхонада уларни эксплуатация қилишда юзага келадиган (регламент шароитлари ва ҳолатдан фарқланувчи) ўзгаришларни характерлайди. Жараён кўрсаткичларини ўзгартиришга таъсир этиш ва жараённи бошқариш имкониятлари эксплуатацион кўрсаткичлар орқали аниқланади.

**Ишончлилик** маълум вақт ичида жиҳозлар ёки корxonанинг ўзида авариясиз ёки тўхтовларсиз ишнинг ўрта вақти билан характерланади. Мазкур кўрсаткич ишлатилаётган жиҳозлар сифати ва уларни тўғри эксплуатация қилишга боғлиқдир.

**Ишлашдаги хавфсизлик** – корхона ходимлари, жиҳозлар, атроф-муҳит ва халққа зарар етказиш эҳтимолидир.

**Сезгирлик** – эксплуатация шароитлари ва режимнинг бузилиши бўлиб, жараён кўрсаткичлари ўзларининг шуларга нисбати билан аниқланади.

**Бошқарилиш ва йўлга солиш** – жараён кўрсаткичларини зарур чегаларда ушлаб туриш, жараён шароитлари ўзгариш катталиги, бошқариш параметрлари ва уларнинг ўзаро таъсир доираларини аниқлашдир (бошқариш мураккаблиги).

**Социал кўрсаткичлар** мазкур корхона иш шароити ва унинг атроф-муҳитга таъсирини белгилайди.

**Хизматнинг зарарсизлиги** – ишлаётган кишиларнинг санитар-гигиеник шароитлари газланганлик, чангланганлик, шовкин даражаси борасида нормаларга ҳамоҳанглиги.

**Автоматлаштириш ва механизациялаш даражаси** корxonани эксплуатация қилишдаги қўл ва оғир меҳнат улуши билан аниқланади.

**Экологик хавфсизлик** – корxonанинг атроф-муҳит ва региондаги экологик вазиятга таъсир даражасидир.

Кимёвий ишлаб чиқаришнинг асосий кўрсаткичларига назар ташлар эканмиз, унинг лойиҳаланиши, қурилиши ва ишлашига

бўлган талаб катта эканлигига яна бир бор амин бўламиз. Бундай талабларнинг жуда яхши ишлаб чиқилишига қарамай, айрим ҳолатларда уларнинг бир-бирига зид ёки бир-бирига халакит бериши ҳам кузатилади. Демак, кенг қанровли ечимлардан фойдаланишимиз керак бўлади. Кўраяпсизки, технолог нафақат чуқур, кенг қанровли билимлар, балки юқори заковат, маданият ва меҳрибон қалб соҳиби бўлиши ҳам талаб этилади.

## **1.6. «УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ» ПРЕДМЕТИ**

Технология умумий фанлар асосига таянади. Механик, иссиқлик ва масса алмашинув жараёнларини тадқиқ қилиш моддалар таркибидаги компонентларнинг тўла ўзгариши билан шуғулланмайди. Бу билимлар табиий-илмий ўқув фанларининг физик циклини ташкил этади. Кимёвий-технологик жараённи ўрганиш илгари ҳам айтиб ўтилганидек, кўпинча кимёвий ва физик-кимёвий билимларга таянади. Шунини ҳисобга олиб, «Умумий кимёвий технология» фани кимёвий фанлар циклига таянган ҳолда ўз ичига қуйидаги бўлимларни олади: реакцион жараёнлар (2-«кимёвий жараёнлар ва реакторлар»); кимёвий технологик жараёнлар (3-боб – «Кимёвий-технологик тизим»); кимёвий технологиянинг экологик муаммолари (4-боб – «Саноат экологияси асослари»).

Олий ўқув юрти йўналишларини ҳисобга олган ҳолда мазкур фан битта ёки бир неча курсга ажратиб ўқитилиши мумкин. Шу боис курс материали «Умумий кимёвий технология» предметининг мумкин бўлган вариантларини ўқитишга мослаб тузилган.

### 2.1. КИРИШ

#### 2.1.1. Кимёвий реактор (умумий тушунча)

*Кимёвий реактор* – кимёвий ўзгаришлар (кимёвий реакциялар) амалга ошириладиган ускуна, аппаратдир. Ишлатилиши, амалиётдаги роли ёки ташқи кўринишига кўра кимёвий реакторлар турли номлар – реактор, колонна, минора, автоклав, камера, контакт аппарати, полимеризатор, гидрогенизатор, оксидловчи ва ҳ.к. деб аталади. Баъзиларининг умумий схемалари 2.1-расмда келтирилган.

Реактор 1 – ҳажмий. Реагентлар (кўпинча суюқлик, суспензия) иш циклидан олдин солинади. Аралаштиргич реагентларни аралаштириб туради. Температура режими иссиқлик алмаштиргичдаги ташитгич ҳисобига ушлаб турилади. Реакция ўтказиб бўлингач маҳсулот олинади, реактор тозаланади ва цикл қайтарилади. Жараён даврий ҳисобланади.

Реактор 2 – ҳажмий, оқимли. Реагентлар (кўпинча газ, суюқлик, суспензия) узлуксиз реактордан ўтиб туради. Газ суюқлик орқали барботажланади.

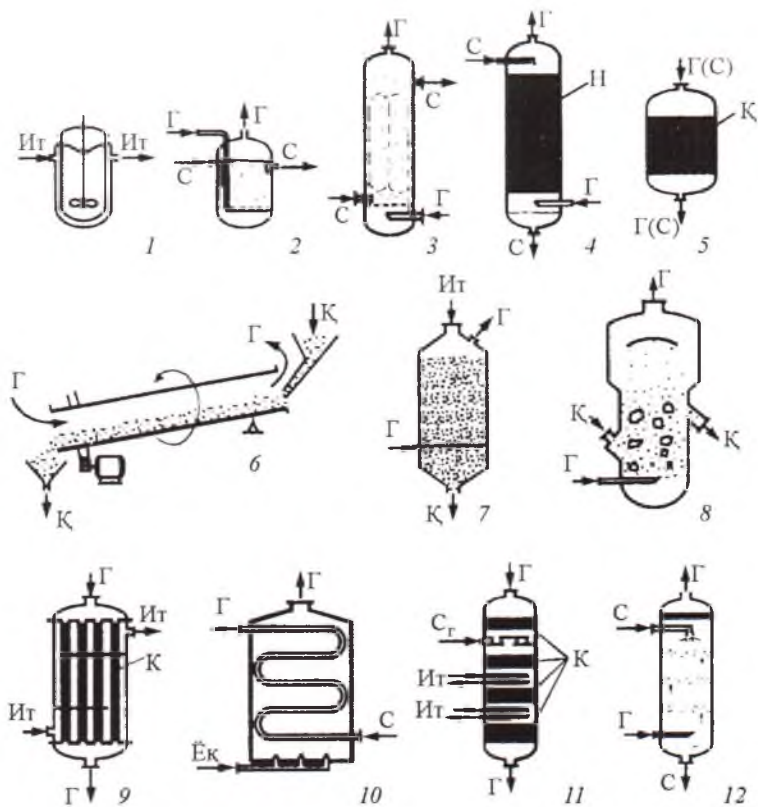
Реактор 3 – колоннали. Саноат колоннали реакторлари учун характерли бўлган баландликнинг диаметрига нисбати 4–6 атрофидадир (ҳажмий реакторларда бу нисбат 1 атрофида бўлади). Газ билан суюқликнинг таъсири реактор 2 даги кабидир.

Реактор 4 – насадкали. Газ билан суюқлик таъсирлашади. Газ насадка элементлари орасида ҳаракатланади.

Реактор 5–8 ларда асосан газнинг каттик реагент билан таъсирлашуви амалга ошади.

Реактор 5 да каттик реагент қимирламайди, газ ҳолдаги (ёки суюқ) реагент реактордан узлуксиз ўтиб туради. Жараён каттик модда бўйича даврийдир.

Реактор 6–8 ларда жараён каттик реагентлар бўйича узлуксиз. Каттик реагент энгаштирилган ҳолда жойлашган айланувчи



2.1-расм. Кимёвий реакторлар схемалари: Г – газ, суюқлик; Иг – иссиқлик та-  
шитгич; Н – насадка, Қ – қаттиқ реагент; К – катализатор, С<sub>г</sub> – совук газ.

думалоқ реактор 6 бўйлаб сурилади ёки реактор 7 орқали туши-  
рилади (қум соатига ўхшаш). Реактор 8 да газ пастдан берилди,  
газ оқими тезлиги юқорилиги ҳисобига қаттиқ заррачалар муаллақ  
ҳолатда бўлади. Бу псевдосуюлтирилган ёки «қайновчи» қават  
бўлиб, суюқликнинг баъзи хоссаларини ўзида намоён қилади.

Аппарат орқали қаттиқ материалнинг узлуксиз оқимини амалга  
ошириш мумкин.

Реактор 5, 9 лар ҳам жараённи қаттиқ катализаторларда олиб бо-  
ришга мўлжалланган.

Реактор 9 – қувурсимон. Кўриниши бўйича кожухсимон иссиқлик алмаштиргични эслатади. 1-реакция бораётган қувур орқали газсимон ёки суюқ реагентлар ўтади. Қувурларга одатда катализатор солинади. Температура режими қувурлараро майдондаги иссиқлик ташитгич циркуляцияси ҳисобига ушлаб турилади.

Қувурсимон реактор 10 кўпинча юқори ҳароратли гомоген реакцияларни ўтказишда қўлланилади (шу жумладан, ёпишқоқ суюқликлардан фойдаланишда оғир углеводородлар пиролизида). Реакторларни кўпинча печлар деб юритадилар.

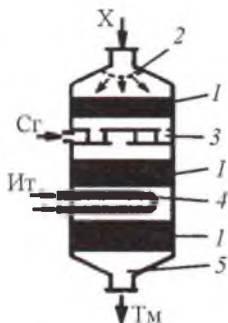
Реактор 11 – реакцияга киришувчи аралашмаларни орада совитиш (иситиш)га мўлжалланган кўп қаватли реактор (бир неча қаватли, масалан катализатор учун). Расмда совитиш биринчи қаватдан кейин совуқ газ киритиш ва иситиш иккинчи ва учинчи қаватлардан кейин иссиқлик алмаштиргичлар ёрдамида олиб борилиши тасвирланган.

Реактор 12 газ-суюқлик жараёнлари учун кўп қаватли қилиб ишланган.

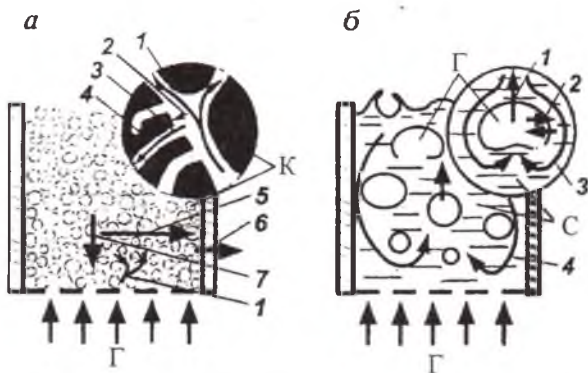
Саноатда реактор хиллари жуда кўплиги билан характерланади. Реакторлар хилма-хиллигини тадқиқ қилиш мақсадида, реакторлар конструкцияларини уларда ўтаётган жараёнларга қараб туриб тизимлаймиз.

2.2-расмда 2.1-расмда ифодаланган реактор 11 га ўхшаш реактор схемаси келтирилган. Барча реакторлар учун характерли бўлган тузилиш элементларини ажратамиз.

Реакция ўтаётган реакторга бир неча қават катализатор солинган. Бу реакция зона 1 бўлиб, барча реакторларда мавжуд. Реакцион аралашма хом ашёси юқориги штуцер орқали киритилади. Реакцион зона орқали газнинг бир хил ўтишини таъминлаш учун окимни таркатгич ўрнатилган. Бу **киритиш мослама**



2.2-расм. Реакторнинг структуравий элементлари:  
 1 – реакция зона; 2 – реакция аралашманинг кириш мосламаси; 3 – аралаштиргич; 4 – иссиқлик аралаштиргич; 5 – чиқиш мосламаси; Сг – совуқ газ; Ит – иссиқлик ташитгич; X ва Тм – тегишлича хом ашё ва тайёр маҳсулотлар.



2.3-расм. Кимёвий реакторда амалга оширилувчи каталитик (а) ва газ – суюклик (б) жараёнлари структураси.

си 2 дир. 2.1-расмдаги реактор 2 да газ таксимлагич бўлиб барботёр хизмат қилади. Аралаштиргичга реагентни бир хил контактни таъминлашдек алоҳида талаб қўйилади. Биринчи (юқоридан) ва иккинчи қаватлар орасидаги **аралаштиргич 3** (2.2-расм)да иккита оқим аралашади – биринчи қаватдан кейин ва қўшилувчи совуқ газ, иккинчи қаватдан кейин **иссиқлик алмаштиргич 4** жойлаштирилган. Маҳсулотлар **чиқиш мосламаси 5** дан чиқарилади. Оқимларни ажратиш мосламаларидан ҳам фойдаланиш мумкин.

Кириш, чиқиш, аралаштириш, ажратиш, оқимларни бўлиш мосламаларида ва иссиқлик алмаштиргичларда физик жараёнлар амалга ошади. Шу боис кейинги тадқиқотлар объекти сифатида асосан кимёвий жараёнлар ўтадиган зоналар олинади. Реакцион зонада ўтадиган жараён кўпгина алоҳида жараёнлардан ташкил топади, булар 2.3-расмда икки – каталитик ва газ-суюклик жараёнлари учун кўрсатилган.

2.3 а-расмда қимирлама қаватли катализатор ва унда борувчи жараёнлар кўрсатилган бўлиб, бу умумий жараённинг таркибий қисмидир. Реагентлар умумий оқими 1 конвектив бўлиб, катализатор доналари орасидан ўтади. Оқимдан реагентлар доналар (2) юзасига ва катализатор ғовакларига ва катализатор ғоваклари (3) га киради, булар ички юзасида реакция (4) амалга ошади. Маҳсулотлар тескари йўл билан оқимга туширилади. Ажралувчи иссиқлик қават (5) бўйлаб ва кейин қаватдан девор орқали хладагент (6) га ётади.



Реакция бориши натижасида юзага келувчи концентрация ва температура градиентлари модда ва иссиқлик (7) оқимини юзага келтиради, бу реагентларнинг асосий конвектив ҳаракатига кўшимча бўлади.

2.3-расм (б) да ичидан газ барботирловчи суюқлик қаватидаги жараён кўрсатилган. Газ (1) пуфак сифатида ўтади. Газ билан суюқлик орасида масса ташиш (2) амалга ошади. Суюқлик жим турмайди – унинг ҳаракатини пуфак (3) олдида ва қават (4) бўйлаб циркуляциясида аниқлаш мумкин. Биринчи кўринишда турбулент диффузиядаги сингари концентрация градиентини, иккинчи ҳолат суюқликнинг реакцион зона бўйлаб циркуляцион конвектив ҳаракатини эслатади.

Реакцион зонада ўтувчи жараён мураккаб эканлигини шу икки мисол кўрсатиб турибди. Агар реакторлар схемаси ва конструкциялари кўплигини ҳисобга олсак, уларда кечадиган жараёнларнинг қанчалик мураккаблигини кўз олдимизга келтиришимиз мумкин. Шу боис ҳам мана шу мураккабликни соддалаштириш, ходисалар ётиш қонуниятлари тизимини тузиш ва булар орасидаги боғлиқликни ҳал қилиш, бошқача қилиб айтганда кимёвий жараён ва реакторларнинг назариясини яратиш зарурати келиб чиқади.

### **2.1.2. Кимёвий жараёнлар ва реакторларни тадқиқ қилиш усулининг математик моделлаштирилиши**

Моделлаш – моделда объектни кўрсатиш бўлиб, фан ва техниканинг турли соҳаларида қўлланилиб келади. Бунинг моҳияти объектнинг ўрнига унинг модели тадқиқ қилинишидир. Моделда олинган хоссалар моделлаштирилаётган объект хоссаларига ўтказилади.

*Модель* – ихтиёрий табиатли махсус жиҳатдан тадқиқ қилинаётганга қараганда бир мунча оддийлиги билан ажралган ҳолда объект ҳақида янги маълумотлар олишга имкон бериш тадқиқ қилинаётган объект ўрнида у ҳақда янги маълумотлар олишга имкон берсин.

Моделлашнинг маълум мисоли сифатида ҳавода учаётган самолётнинг суйрилигини, унинг моделини аэродинамик трубада ўтказилишини кўриб чиқамиз. Мазкур ҳолатда самолёт модели

унинг ўхшаш геометрик нухсасидир.. Бунда фақат самолёт корпусининг ҳаво оқимидаги суйрилиги моделлаштирилади (тадқиқ қилинади). Самолётнинг бошқа хоссалари, масалан, қулайлик ва пассажирларнинг креслодаги ҳавфсизлиги тадқиқ қилинмайди. Бундан кўринадики, моделлаш фақат айрим ҳодисалар уни жараёнлар параметр (қанотлар ва корпус конфигурацияси ёки кресло конфигурацияси ва ҳ.к.) ларини ҳисобга олган ҳолда амалга оширилади. Моделда ҳисобга олинувчи ҳодисаларни модел таркиблари деб аташ қабул қилинган.

Мақсадга эришиш учун модел хоссаларини ўрганаётганда унга таъсир этувчи омиллар объектнинг хоссаларига ҳам шундай таъсир этишига эришиш зарур бўлади. Модел тузишдаги илмий ва ижодий ёндашишнинг асоси ўрганилаётган хоссаларга таъсир этувчи ҳодисаларни кўра олишдир.

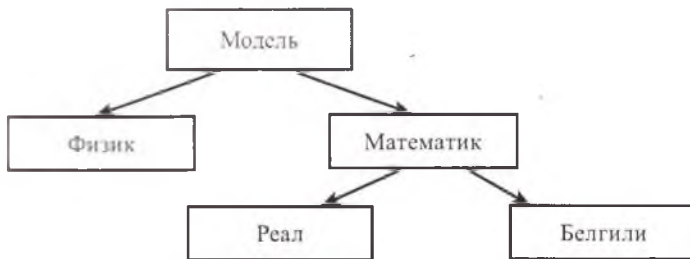
Ўрганилаётган хосса-хусусиятларга барча таркиблар ва параметрлар барабар таъсир этади, деб бўлмайди. Баъзи параметрларнинг ўзгариш ва у ёки бу таркибларнинг мавжудлиги бу хоссаларга унчалик сезиларли таъсир кўрсатмайди. Бундай таркиблар ва параметрлар бирмунча аҳамиятсиз бўлиб, моделда уларни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Тегишлича, оддий модель фақат айрим таркибларгагина эга бўлади. Шу боис оддий моделни ташқи кўриниши бўйича оддий деб бўлмайди (масалан, структураси бўйича мураккаб бўлмаган конструкция). Лекин агар таъсир этувчи барча таркиблар киритилмаса, у тўла бўлмаган ҳисобланади, уни тадқиқ қилиш натижалари объект хоссаларига тўғри келмаслиги мумкин.

Моделнинг объектнинг номаълум хоссаларини олдиндан айтиб бериши ва у ҳақда янги ахборот беришини белгилашга аҳамият бериш зарур бўлади. Бу, биринчидан, модель оддий бўлиб, уни тадқиқ қилиш, ўрганиш мумкин бўлган тақдирда ва иккинчидан, ўрганилаётган хоссаларнинг очилишига имкон бергандагина амалга ошуви мумкин.

Моделлаш дастлаб илмий фикрни аниқлаш учун аэро- ва гидродинамикада қўлланилди. Ўхшашлик назариясидан фойдаланиб, кичик ускуналар (моделлар)да олинган экспериментал натижаларни катта масштабдаги реал объектларга кўчириш амалга оширил-

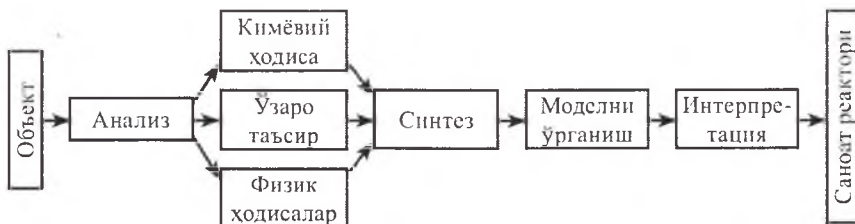
ди. Бундай кузатувлар асоси сифатида **физик моделлаш** хизмат қилади, бунда модел ва объект табиати бир хил бўлади. Физик моделлаш ва ўхшашлик назарияси кимёвий технологиянинг иссиқлик ва диффузион жараёнларида қўлланила бошлади. Лекин унинг бу соҳадаги қўлланилиши физик ва кимёвий таркибларнинг бир-бирига мос келмай қолиши туфайли кенг ривож топмади. Масалан, реагентларнинг бошқа маҳсулотларга айланиш даражаси уларнинг реакторда бўлиш вақти билан боғлиқ бўлса (бу оқим тезлиги билан реактор катталиги нисбатидан олинади), иссиқлик билан масса кўчиши Рейнольдс критерийси бўлган реактор ўлчамининг оқим тезлиги кўпайтмаси билан ўлчанади. Турли катталикдаги аппаратларда нисбат билан икки катталик кўпайтмаларини бир хил қилиш мумкин бўлмайди. Кичик аппаратда ажралаётган иссиқлик осон йўқолади ва модда айланишига унчалик таъсир қилмайди. Катта аппаратларда ажралувчи иссиқлик унинг ичида «беркиниб» олади, натижада ҳароратга, реакция тезлиги ва бошқа омилларга таъсир қилади. Демак, физик таркибларнинг реакция жараёнга таъсири катта аппаратларда сезиларли аҳамиятга эгадир.

Реакцион жараёнларда масштаби ўтишлардаги қийинчилик **математик моделлашдан** фойдаланиб амалга оширилади, бунда модель билан объект турли физик табиатга, аммо бир хил хоссаларга эга бўлишади. Мослама учун механик маятник билан ёпик электрик контурдан иборат конденсатор ва индуктивлик ғалтаги турли физик табиатга эга, лекин механик тебраниш ва электрик хоссалари тегишлича бир хил бўлади. Бу мосламалар учун шундай параметрлар танлаш мумкинки, унда частота бўйича тебраниш бир хил бўлади. Бунда электрик тебраниш контури маятник модели ҳисобланади. Бунда иккала мослама хоссаси – тебранишлар – шу ва шунга ўхшаш тенгламалар билан ифодаланади. Бундан моделлаш номи – математик моделлаш келиб чиққан. Мазкур ҳолатда тебраниш тенграмаси механик маятникнинг ҳам, электрик контурнинг ҳам математик моделидир. Математик моделлар тегишлича қандайдир физик мослама сифатида **реал**, математик тенгламалар сифатида **белгилиларга** бўлинади. Моделлар классификацияси 2.4-расмда келтирилган.



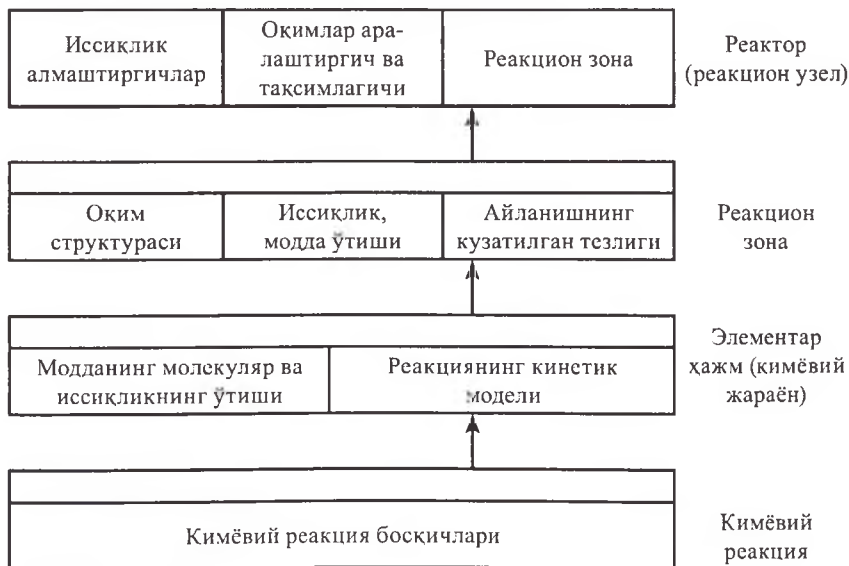
2.4-расм. Моделлар классификацияси.

Реал математик моделни тузиш учун, табиийки, аввало белгилини тузиш керак бўлади. Шу боис, қоидага биноан, математик моделлашни фақат объектни ифодаловчи тенгламага ўхшатишади, бошқача айтганда белгили математик моделга тенглаштирадилар: бу тенгламалар хоссасини тадқиқ қилишни математик моделлаш деб атайдилар. Электрон ҳисоблаш машинаси (ЭҲМ) универсал реал математик моделдир. Объектни ифодаловчи тенгламалар бўйича ЭҲМни «тузишади» (программалаштирилади) ва унинг «хулқи» мана шу тенгламалар билан ифодаланади. Модомики, реакцион жараёнга физик ва кимёвий таркиблар таъсири масштаб билан боғлиқ экан, уларни ажратиш кимёвий жараён ва реакторларни математик моделлашдаги энг муҳим босқичлардан ҳисобланади. Реакторларни математик моделлашнинг умумий схемаси 2.5-расмда кўрсатилган. Масъул босқич кимёвий реакторда амалга ошувчи жараённинг таҳлили ҳисобланади; таҳлил жараён таркиблари ва уларнинг ўзаро таъсир доираларини очиб беради. Кейин уларнинг кимёвий айланишларининг кинетик ва термодинамик қонуниятлари, масса кўчиш ҳодисалари ва бошқалар аниқланади. Мазкур босқичда экспериментал тадқиқотлар маълумотлари ишлатилади. Математик моделлаш тажрибадан воз кечмайди, балки ундан фаол фойдаланади, аммо тажриба прецизион, реактордаги тажрибадан аниқроқлиги билан ажралади. Таҳлил натижалари жараён ва унинг таркибини жараён математик модели – уни ифодаловчи тенглама сифатида беради. Бунда ҳисоблаш тажрибаси ўтказилади. Моделнинг олинган хоссалари ўрганилаётган объект хоссалари сифатида интерпретацияланади (мазкур ҳолатда кимёвий реактор учун).



2.5-расм. Реакторлар ва кимёвий жараёнларни математик моделлаш схемаси.

Мураккаб жараёнларда ажратилган таркиблар (декомпозиция) инвариантлик шартига мослашиши зарур, бунда масштабга нисбатан олинган тенгламалар математик модели параметрлари ва чегара шароитлари таъсири ҳисобга олинади. Модел тузишда иерархик йўлдан фойдаланилганда инвариантлик талаби қондирилади. Бунинг учун жараён декомпозицияси нафакат таркиблар бўйича, балки масштаб бўйича ҳам ўтказилади. Реакторлардаги жараёнлар математик моделларнинг ўзига хослиги, уларнинг иерархик тузилишидир. Бу 2.6-расмдан кўринади.



2.6-расм. Кимёвий реактордаги жараён математик моделининг иерархик структураси.

Элементар боскичлардан иборат кимёвий реакция молекуляр масштабда ўтади. Унинг хоссалари (масалан, тезлик) реактор масштабига боғлиқ бўлмайди, яъни реакция тезлиги шароитлар қандай яратилганлигига боғлиқ бўлмаган ҳолда фақат ўтиш шароитига мос равишда ўтаверади. Тадқиқотларнинг бу даражадаги натижаси кинетик модель – реакция тезлигининг шароитига боғлиқлиги бўлади.

Кейинги масштабли даража кимёвий жараён бўлиб, у реакция ва кўчиш ҳодисалари бўлган, диффузия, иссиқлик ўтказиш ва бошқаларнинг йиғиндисини ўз ичига олади. Реакциянинг кинетик модели таркиб сифатида олинади. Кимёвий жараён ўтаётган ҳажм шундай танланадик, унда жараён қонуниятлари реактор катта-кичиклигига боғлиқ бўлмайди. Масалан, бу катализатор доналари бўлиши мумкин. Модданинг айланиш тезлиги унда дона катта-кичиклиги ва характеристикасига ҳамда шароитга боғлиқ бўлиб (концентрация ва температура), шароитлар қандай қилиб яратилганига боғлиқ бўлмайди. Кимёвий жараён модели кейинги масштабли даражада – реакцияон зонага таркибнинг бири сифатида кирази. Бошқа таркиблар – кўчиш ҳодисалари шундай масштабда олинади. Реактор масштабида таркиб сифатида реакцияон зона, ўрин олиш узеллари, иссиқлик алмашилиш ва ҳ.к. киритилади. Шундай қилиб, реактордаги жараён модели математик моделларнинг турли масштаби тизими билан белгиланади.

Жараённинг реактордаги математик модели иерархик структураси қуйидагиларни амалга оширишга имкон беради:

- турли масштабдаги асосий жараёнларни мукамал текшириб, жараён хоссаларини тўла ифодалаш;

- мураккаб жараёнларни қисмлар бўйича ўрганиб, уларнинг ҳар бири учун алоҳида, прецизион усулларни қўллаган ҳолда, натижалар аниқлиги ва ишончлилигига эришилади;

- алоҳида қисмлар орасидаги боғланишларни аниқлаш ва реактор ишлашида улар ролини топиш;

- жараённи юқори даражада ўрганишга ёрдам беради, чунки жараён қуйи даражада ўрганиш орқали юқорироқ даражада ахборот олиш;

- масштабли ўтиш масалаларини ҳал этиш.

Кимёвий реакторда жараённи ўрганишнинг юқорида айtilган математик моделлаш усулига тўхталамиз.



## 2.2. КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАРНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИ

### 2.2.1. Кимёвий ўзгаришлар стехиометрияси

**Стехиометрик тенгламалар.** Моддалар маълум нисбатларда таъсирлашади, бу кимёвий тенгламаларда ўз ифодасини топади. Булардан реакция ўтаётганда таъсирлашувчи аралашма таркиби ўзгариши аниқланади.

Стехиометрик тенгламалар моддалар қандай нисбатларда бирикишини кўрсатади. Стехиометрик тенгламалар умумий кўриниши:



бу ерда A, B... – дастлабки моддалар; R, S... – маҳсулотлар;  $v_A, v_B, \dots, v_R, v_S$  – стехиометрик коэффициентлар.

Стехиометрик тенгламада кимёвий элементлар баланси сақланади. Ҳар бир элементнинг дастлабки модда ва маҳсулотлардаги миқдори ўзаро тенг бўлади. Шу боис стехиометрик тенгламаларни алгебраик деб ҳисоблаб, қуйидагича ёзиш мумкин бўлади:

$$\sum_i v_i A_i = 0, \quad (2.2)$$

бу ерда  $A_i$  – моддалар номи ( $A_i = A, B, R, S \dots$  2.1 тенгламадаги);  $v_i$  – стехиометрик коэффициент (1-модданики).

(2.2) формулада сарфланадиган хом ашё моддалари учун  $v_i < 0$  деб; ҳосил бўлувчи маҳсулотлар учун эса  $v_i > 0$  деб қабул қилинади.

(2.2) тенгламага  $v$ , нолга тенг бўлган ( $v_i = 0$ ) модда-инерт (ўзгаришда иштирок этмовчи)ни киритиш мумкин.

Стехиометрик тенглама моҳиятидан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$(N_1 - N_0)/v_1 = (N_2 - N_{20})/v_2 = \dots (N_i - N_{i0})/v_i = \text{const}, \quad (2.3)$$

бу ерда  $N_{10}, N_{20}, \dots, N_{i0}$  – компонентларнинг дастлабки миқдорлари;  $N_1, N_2, \dots, N_i$  – компонентларнинг айланишдан кейинги миқдорлари;  $v_1, v_2, \dots, v_i$  – тегишлича стехиометрик коэффициентлар.

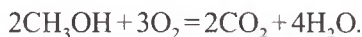
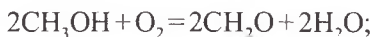
Стехиометрик тенгламалар факат таъсирлашувчи моддалар микдорининг нисбатини кўрсатишини, лекин ҳақиқий ўзаро таъсирларни ифодаламаслигини эслатиб ўтамиз.

**Оддий ва мураккаб айланишлар.** Агар айланишлар бир неча йўналишларда бораётган бўлса, (2.1) ва (2.2) каби стехиометрик тенгламалар бир нечта бўлиши мумкин. *Оддий реакция* битта, мураккаб реакция эса бир нечта стехиометрик тенгламалар билан ифодаланади.

Олтингугурт диоксиднинг оксидланиши оддий реакция мисоли бўла олади:



мураккабниқига метанолнинг формальдегидгача оксидланишини кўрсатса бўлади:

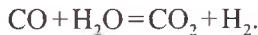
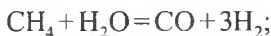


Бу ерда оддий ёки мураккаб реакция айланишнинг йўналишлари бўйича аниқланади (ёки айланиш схемаси дейиш мумкин). Механизмнинг ўтиши бўйича ҳам реакциялар оддий ёки мураккаб бўлиши мумкин. Бу жиҳатдан  $\text{SO}_2$  нинг оксидланиши – кўп босқичли реакция механизми бўйича мураккаб ҳисобланади.

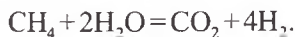
**Стехиометрик тенгламалар сони.** Стехиометрик тенгламалар бир неча усулларда ифодаланиши мумкин. Аммиак синтези реакцияси қуйидаги стехиометрик тенглама билан ёзилади:



Мстаннинг буғдаги конверсияси икки босқичда ўтади:



Қуйидаги стехиометрик тенгламани ҳам ёзиш мумкин:



Тенгламалар сони моддалар сонидан кўплиги маълум. Шу боис тенгламалар мажмуаси аниқ бўлиши талаб этилади.

Айтайлик, ўзгаришларда В моддалар иштирок этаяпти, улар сонини ўзгаришлардан сўнг аниқлаш лозим бўлади. Бунинг учун В

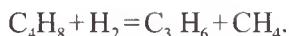
га тенг тенгламалар керак бўлади. Лекин моддалар Эга тенг кимёвий элементлардан ташкил топади, ҳар бир тенгламада элементлар баланси сақланади. Шу боис таъсирлашган моддалар таркибини аниқлашда қуйидаги микдордаги тенгламалар керак бўлади:

$$Y = B - (Э - 1) \quad (2.4)$$

Оксидланиш – қайтарилиш реакцияларида нафақат ҳар бир элемент бўйича, балки электронлар бўйича ҳам баланс сақланади. Бу ҳолда ҳар бир элемент бўйича балансга реакцияда иштирок этувчи модда зарядларни ҳам қўшиш керак бўлади, шунда тенгламалар қуйидаги микдорда бўлиши керак:

$$Y = B - Э \quad (2.5)$$

Ўрин алмашилиш реакциялари учун бўлган (2.4) тенглама ва оксидланиш-қайтарилиш реакцияси учун бўлган (2.5) тенглама стехиометрик тенгламалар сонини билдиради, булар таъсирлашган аралашмаларни ҳисоблашга имкон беради. Шундай бўлса, бу тенгламалардан эҳтиётроқ бўлиб фойдаланиш таклиф этилади. Буни қуйидаги гидродеалкиллаш реакциясида кўрамиз:



Ушбу реакция битта тенгламада ифодаланган, (2.5) тенгламадан тенгламалар иккита бўлиши кўринади (4 та модда ва 2 та элемент бор). Буни қуйидаги билан боғланганлигини тушунтирамиз. Бутилен ва пропилен  $H_2C=CH-CH_2=CH_2$  ва  $H_2C=CH-CH_3$  ни тегишлича структура формулалари билан кўрсатамиз.  $H_2C=CH-$  гуруҳи иккала моддада сақланаяпти ва С билан Н дан бошқа учинчи элемент ролини ўйнаяпти (бутилендаги –  $CH_2-$  ва  $CH_3-$  гуруҳлар сақланмаяпти: биринчиси пропиленнинг  $CH_2-$  гуруҳига, иккинчиси  $CH_4$  га айланаяпти). Шу боис  $Э = 3$  деб қабул қилиб, (2.5) формуладан  $Y = 1$  деб оламиз. (2.4) ва (2.5)ларни стехиометрик жиҳатдан мустақил бўлган тенгламаларни топишга қўллаб, нафақат Эга кимёвий элементларни, балки барқарор гуруҳларни ҳам қўшиш керак бўлади.

**Стехиометрик мустақил тенгламалар.** Тенгламага кирувчи алгебраик тенгламалар системаси чизикли боғлиқликка эга бўлмаган ҳолларида счимга эга бўладилар, яъни уларнинг бирортасини ҳам

Бошқаларни чизикли комбинациялаш орқали олиб бўлмайди. Кимёвий тенгламалар системасига бу кондани қўллаб айтиши мумкин: стехиометрик мустақил тенгламаларни қўллаб, таъсирлашаётган аралашма таркибини аниқласа бўлади, бошқача қилиб айтганда, уларнинг бирортасини бошқа тенгламаларни чизикли комбинациялаш орқали олиб бўлмайди.

Танланган тенгламалар системасида стехиометрик боғлиқлик мавжудлигини билиш учун моҳияти қуйидагича алгоритмдан фойдаланиш мумкин.  $n$  та моддалар бўлган  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  лар таъсирлашади. Уларнинг ўзаро таъсири (2.2) бўйича  $t$  та тенгламалар билан ифодаланади, уларни матрица шаклида кўрсатамиз:

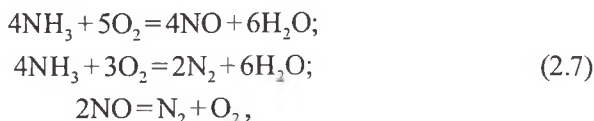
$$\begin{array}{cccccccc} v_{11} & v_{21} & v_{31} & \dots & v_{n1} & & & \\ v_{12} & v_{22} & v_{32} & \dots & v_{n2} & & & \\ v_{13} & v_{23} & v_{33} & \dots & v_{n3} & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & & & \\ v_{1m} & v_{2m} & v_{3m} & \dots & v_{nm} & & & \end{array} \times \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \dots \\ A_n \end{array} = 0.$$

Бу ерда Уу-р-сонли стехиометрик тенгламадаги биринчи модданинг стехиометрик коэффициенти. Агар бирор модда тенгламалардан бирига кирмаса, унда тегишлича бўлади. Коэффицентлар матрицаси қуйидаги кўринишга келтирилади:

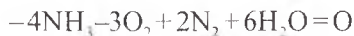
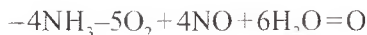
$$\begin{array}{cccccccc} 1 & \alpha_{21} & \alpha_{31} & \dots & \alpha_{n1} & & & \\ 0 & 1 & \alpha_{32} & \dots & \alpha_{n2} & & & \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_{n3} & & & \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 1 & \dots & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & & \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_{nm} & & & \end{array} \quad (2.6)$$

бунда матрица элементларини юқорида кўрсатилгандек уч бурчак ва диагональ бўйича бирламчи элементлар сифатида ажратилади. Алгебрада маълум бўлган бу бажариладиган ишни қуйидаги оддий мисолда намоён қиламиз.

Аммиакнинг оксидланишини тенгламаларда ифодалаймиз.



ёски алгебраик кўринишда:



Тенгламалар шундай ёзилганки, устунларда бир хил моддалар ифодаланди. Стехиометрик коэффициентлар матрица кўринишида берилди (2.8 а).

$$\underbrace{\begin{pmatrix} -4 & -5 & 4 & 0 & 6 \\ -4 & -3 & 0 & 2 & 6 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_a \rightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 1 & 0,75 & 0 & -0,5 & -1,5 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_b \rightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 0 & -0,5 & 1 & -0,5 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \end{pmatrix}}_v \quad (2.8)$$

Матрицанинг ноли элементлари мазкур тенгламага кирмайдиган моддаларга тегишлидир.

Биринчи устун элементларини бирламчи қилиб оламиз, бунинг учун ҳар қаторнинг барча элементларини ундаги биринчи элемент қийматига бўламиз. Кейин биринчи қатордагидан бошқа қаторнинг биринчи элементларини нолик қилиб оламиз.

Бунинг учун иккинчи қатордан бошлаб ҳар бир қатордан биринчини айирамиз (учинчи қатор учун бундай қилишнинг аҳамияти йўқ). Матрица (2.8 б) кўринишга эга бўлади.

Бу икки ишни (2.8 в) матрицанинг пунктир билан ажратилган бир қисми учун қайтарамиз, унинг биринчи элементларини бирламчи деб қабул қиламиз. (2.8' г), ундан кейин учинчи қаторнинг иккинчи элементини нолик қиламиз (2.8' д):

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1,25 & -1 & -1,5 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 0 \end{pmatrix}}_g \rightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1,25 & -1 & 0 & -1,5 \\ 0 & 1 & 0,5 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}}_d \quad (2.8')$$

Учинчи қатор ноликка айланди. Мазкур тенглама стехиометрик боғлиқдир. Бу тенгламаларнинг дастлабки системаси (2.7) дан маълум эди, яъни учинчи тенглама комбинациясидан олинади. Биринчи тенгламани  $-0,5$  га, иккинчисини  $+0,5$  га кўпайтирамиз ва қўшамиз  $-$  учинчи тенглама чиқади.

**Айланиш даражаси.** (2.3) тенгламадаги нисбат барча реагентларнинг ўзаро микдорлари  $N_i$  ни боғлайди. Барча реагентлар концентрацияси билан микдорларини белгиловчи кўрсаткич киритиш мақсадга мувофиқлиги кўринади, албатта. Бундай кўрсаткич бўлиб қандайдир дастлабки модданинг айланиш даражаси  $x$  хизмат қилади, у модданинг қандай қисми ўзгарганлигини билдиради. Масалан, бу кўрсаткич  $A$  моддаси учун тенг бўлади:

$$x_A = (N_{A0} - N_A) / N_{A0}. \quad (2.9)$$

(2.3) ва (2.9) тенгламалардан фойдаланиб таъсирлашаётган аралашмадаги ихтиёрий модданинг микдорини аниқлаш мумкин бўлади:

$$N_i = N_{i0} - (v_i / v_A) N_{A0} x_A. \quad (2.10)$$

Айланиш даражаси ихтиёрий хом ашё (дастлабки модда) учун аниқланиши мумкин бўлиб, буни  $x_B = (N_{B0} - N_B) / N_{B0}$  мисолида бажариш мумкин. (2.3) тенгламадан ва  $x_A$  ва  $x_B$  ларга тегишли маълумотлардан фойдаланган ҳолда ёзишимиз мумкин.

$$x_B = x_A \frac{v_A N_{A0}}{v_B N_{B0}}. \quad (2.11)$$

Агар дастлабки реакцион аралашма ноэквиляр таркибга эга бўлса, унда реакцион аралашманинг таркибини стишмаётган модданинг айланиш даражаси билан ифодалаш қулай бўлади. У *таянч компонент* дейилади. Таянч компонент тўла айланиб бўлганда ҳам бошқа дастлабки моддалар қолган бўлади.

Агар  $A$  компонент бир неча реакцияда иштирок этаётган бўлса, унда унинг реакциядаги айланиш даражаси  $x_{A_j}$  ни топамиз; (2.10) тенглама куйидаги кўринишга ўтади:

$$N_i = N_{i0} - \sum_{A_j} \frac{v_{ij}}{v_{A_j}} N_{A0} x_{A_j}. \quad (2.12)$$

**Реакцион аралашмадаги компонентлар концентрацияси.** Реакцион аралашмадаги компонент концентрацияси

$$C_i = N_i / \sum_i N_i$$



Реакцион аралашманинг умумий микдорини (2.10) тенглама маълумотлари йигиндисидан топамиз:

$$\sum N_i = \sum N_{i0} - x_A \sum_i (v_i/v_A). \quad (2.13)$$

$\sum_i v_i = \Delta v$  катталиги – реакцияда моллар сонининг ўзгаришидир.  $C_i$  ни топишда қўлланилганидек бошланғич концентрация  $C_{i0} = N_{i0}/\sum_i N_{i0}$  ва (2.13) тенгламадан фойдаланиб, қуйидаги катталикни аниқлаймиз:

$$C_i = \frac{C_{i0} - (v_i/v_A)C_{A0}x_A}{1 - (\Delta v/v_A)C_{A0}x_A} \quad (2.14)$$

(2.14) тенгламанинг сурати моддалар айланиши орқасида концентрация ўзгаришини, маҳраж эса реакцион аралашманинг ҳажми ўзгаришини белгилайди. Аммиак синтези реакцияси учун

$$C_1 = \frac{C_{10}(1-x)}{1-2C_{10}x}; \quad C_2 = \frac{C_{20}-3C_{10}x}{1-2C_{10}x}; \quad C_3 = \frac{C_{30}+2C_{10}x}{1-2C_{10}x}, \quad (2.15)$$

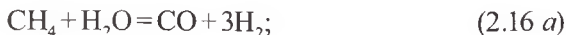
бу ерда  $C_1, C_2, C_3 - N_2, H_2, NH_3$  лар концентрациялари;  $C_{10}, C_{20}, C_{30}$  – мазкур компонентларнинг дастлабки концентрациялари;  $x - N_2$  нинг айланиш даражаси.

(2.15) тенгламанинг маҳражи бирдан кичик ва концентрация, масалан, аммиакники реакцион аралашманинг ҳажми камайиши ҳисобига ортгандек туюлади ( $\Delta v = -2$ ).

Мураккаб реакциянинг ҳар бири учун қандайдир дастлабки модданинг айланиш даражасини киритиш мумкин. Бир модданинг ўзи, айниқса, таянч модданинг ўзи кирган тенгламаларга эга бўлиши қулайдир. Унда айланиш даражаси (2.12) тенгламани қўллаб реакцион аралашма таркибини аниқлаш соддалашади.

Лекин стехиометрик тенгламалар мажмуаси доимо шундай бўлавермайди. Чизиқли қайта ўзгартишлар хоҳишдаги тенгламаларни олишга имкон беради.

Метаннинг сув буғи билан конверсияси қуйидаги тенгламалар билан ифодаланади:



Таянч компонент ҳисобланган метан этишмайди, унинг айла-ниш даражасидан биринчи тенгламада фойдаланиш бу борада қўл келади. Иккинчи тенгламада таянч компонент СО ҳисобланади, ле-кин унинг бошланғич концентрацияси нолга тенглиги сабабли уни қўшиб, реакция тенгласини ёзганимизда



метаннинг икки йўналишдаги айланишини ифодаловчи (2.16 а) ва (2.16 в) каби тенгламалар мажмуасини беради. Метаннинг шу икки тенгламалар бўйича айланиш даражалари  $X_1$  ва  $X_2$  ларни аниқлаймиз. Дастлабки аралашма метан билан сувнинг 10 ва 20 мо-лини сақлайди. Таъсирланувчи аралашмада  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , ( 1, 2 тегишлича) микдори:

$$\begin{aligned} N_1 &= N_{10} - N_{10}(x_1 + x_2); \quad N_4 = N_{10}x_1; \\ N_2 &= N_{20} - N_{10}x_1 - 2N_{10}x_2; \quad N_5 = N_{10}x_2 \\ N_2 &= 3N_{10}x_1 + 4N_{10}x_2; \end{aligned}$$

Кейин барча  $N_i$  ларни қўшиб, умумий моллар сони  $\sum_i N_i$  ни то-памиз,  $C_i = N_i / \sum_i N_i$  эса ҳар бир компонент концентрациясидир.

**Жараён селективлиги ва маҳсулот чиқиши.** Мураккаб реак-цияда дастлабки модда айланиши турли йўналишларда боради. Хоҳишдаги маҳсулот барча реакцияларда ҳам ҳосил бўлавермайди, шу боис мураккаб реакцияларда айланиш даражасидан ташқари жараённинг қуйидаги омиллари ҳисобга олинади.

Жараён селективлиги дастлабки модданинг қанча қисми мақсадли бирикмага айланганлигини кўрсатиши билан характерланади. Даст-лабки модда А айланиши бир неча тенгламада ифодаланган бўлсин дейлик. Маҳсулот ҳосил бўлиши битта тенгламада ифодаланган. А ва R учун стехиометрик коэффициентлар –  $v_A$  ва  $v_R$  шу тенглама учун деб олинади. А ва R нинг айланиш селективлиги аниқланади:

$$S_R = \frac{v_A (N_R - N_{R0})}{v_R (N_A - N_{A0})} \quad (2.17)$$

*Маҳсулот чиқиши* бор модданинг қанча қисми мақсадли маҳсулотга айланганлигини билдиради. Юқорида келтирил-

ган ифодалардан фойдаланиб,  $R$  маҳсулотнинг чиқиши  $E_R$  ни аниқлаймиз

$$E_R = v_A(N_R - N_{R0}) / (-v_R N_{A0}) \quad (2.18)$$

Айланиш даражаси моҳиятини (2.9) ва (2.17)-(2.18) ифодаларидан топамиз

$$E_R = S_R x_A. \quad (2.19)$$

Оддий реакция учун  $S_R = 1$  ва  $E_R = x_A$  га тенг бўлади.

Жараён селективлиги ва маҳсулот чиқиши керакли маҳсулот олишда кимёвий жараённинг хом ашёни ишлатиш самарадорлигини характерлайдиган кўрсаткичдир.

## 2.2.2. Кимёвий айланишлар термодинамикаси

**Реакциянинг йўналувчанлиги.** Агар кимёвий реакция кимёвий потенциалнинг камайиши билан борса, у принципиал амалга ошади, бу изобар потенциал, яъни Гиббс энергияси бўлиб, реакциянинг ўтиш имкони қуйидаги тенгсизлик билан ифодаланади:

$$\Delta G_{p,T} < 0, \quad (2.20)$$

бу ерда  $\Delta G_{p,T}$ —дастлабки модданинг маҳсулотга айланишидаги Гиббс энергияси ўзгариши.

$\Delta G_{p,T}$  ни ҳисоблаш учун қуйидаги маълумотлар ва нисбатлардан фойдаланилади. Стандарт Гиббс энергияси катталиги ( $\Delta G_{298}^0$ ) = х.б. термодинамика маълумотларида келтирилади (298 Кда). Реакция учун

$$\Delta G_{298}^0 = \sum_i \nu_i (\Delta G_{298}^0)_i \text{ х.б.} \quad (2.21)$$

Гиббс энергиясининг температура билан боғлиқлиги:

$$\Delta G_T^0 = H_T^0 - T\Delta S, \quad (2.22)$$

бу ерда  $\Delta H_T^0$ ,  $\Delta S$ —энгальпия ва энтропия ўзгаришлари бўлиб, (2.21) формулага ўхшаш ҳисобланади.

Гиббс энергиясининг реакция аралашма таркиби билан боғлиқлиги (газлар аралашмаси учун):

$$\Delta G_{p,T} = \Delta G_T^0 + RT \ln \prod p_i^{\nu_i}, \quad (2.23)$$

бу ерда  $\Pi$  – қўпайтма белгиси;  $p_i$  – компонентлар парциал босими.

(2.20) тенгсизлик жараёнда керакли маҳсулотни олиш имкони борлигини аниқлашга ёрдам беради, ишлаб чиқаришнинг янги усулини яратишни шундан бошлайдилар.

(2.20) тенгсизликнинг ишлатилиши иккиламчи ноҳуш маҳсулотлар ҳосил бўлишининг олдини олувчи шароитларни топишдир. Қуйидаги мисолни келтирамиз. Метанни сув буғи билан конверсиясида курум ҳосил бўлиши мумкин. Бўлиши мумкин реакциялардан бири:



(2.21) ва (2.22) тенгламалардан мазкур реакция учун аниқланди:

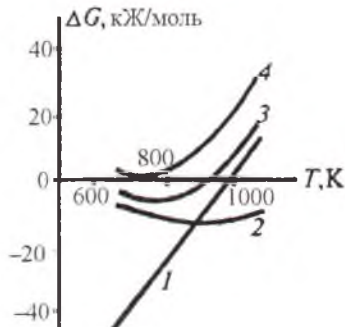
$$\Delta G_T^0 = -132 + 0,133 T \text{ (кЖ/моль)}$$

Саноат реакторида метан конверсияси мувозанат яқинида амалга ошади. Буғ: метан=2:1 нисбатда олинган дастлабки аралашмада курум (улғерод) ҳосил бўлишига олиб келувчи компонентларнинг тегишлича миқдори қуйидагичадир:  $C_{\text{CO}}=0,071$ ,  $C_{\text{H}_2}=0,53$ ,  $C_{\text{H}_2\text{O}}=0,24$ . Бундай маълумотларни бошқа температура ва дастлабки таркибларга олиш мумкин ва улар учун  $\Delta G_{p,T}$  ни (2.23) формула билан ҳисоблаш мумкин. Натижалар 2.7-расмда келтирилгандир.

Буғ: газ=1:1 бўлган дастлабки таркибда бутун температура интервалида  $\Delta G_{p,T} > 0$  ва шу боис курумни ажратиш мумкин. Бошланғич аралашма буғ: газ=2:1 учун реактор» қисмида (900 К дан пастроқ температурада) курум ҳосил бўлиши мумкин. Ва фақат сув буғининг тўрт қаррали мўллигида курум ҳосил бўлмайди ( $\Delta C_{p,T} > 0$ ). Реакция ўтишининг термодинамик мумкинлиги ҳали реакциянинг албатта ўтишини билдирмайди. Бу реакция тезлигига боғлиқ. Лекин асосий омил – шароитларгина буни тақозо этса, шундагина реакция амалга ошмайди.

2.7-расм.

Метан конверсияси (1) да температура  $T$  нинг Гиббс энергияси  $\Delta G$  ва метан конверторидаги метаннинг дастлабки буғ: газ=1:1 (2), 2:1 (3) ва 4:1 (4) нисбатининг боғлиқлиги.



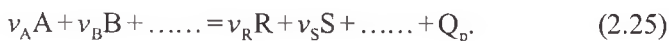
Реакциянинг иссиқлик эффекти. *Иссиқлик эффекти*  $Q_p$  ёки реакцияда энтальпиянинг ўзгариши  $\Delta H$  технологик тадқиқотларда муҳим ўрин тутадиган термодинамик катталиқ ҳисобланади. Булар белгиси жиҳатидан бир-бирига тесқаридир:  $Q_p = -\Delta H$ . Энтальпия ўзгариши реакцияда иштирок этаётган моддалар энтальпияси орқали ҳисобланади ёки уларнинг белгисига қараб реакциялар иккига ажратилади:

$\Delta H < 0$ ;  $Q_p > 0$  экзотермик реакция;

$\Delta H > 0$ ;  $Q_p < 0$  эндотермик реакция.

Бундан бўён  $Q_p$  катталиқни моҳият мазмунига қараб ишлатиш мақсадлидир. Агар реакция экзотермик бўлса, унда иссиқлик ажралади ва  $Q_p > 0$  бўлади.

Реакциянинг иссиқлик эффекти ёзилганда термоқимёвий тенгламага киритилади:



(2.25) тенгламадаги  $Q_p$  катталиқ қимёвий тенгламадаги ёзувга боғлиқ бўлади. Масалан,  $Q_p$  қийматлари  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$  ва  $0,5 N_2 + 1,5H_2 = NH_3$  тенгламаларидаги катталиғи икки барабар фарқланади, бу стехиометрик коэффициентлар фарқланишига ўхшайди. Маълумотномаларда  $Q_p$  тўғридан-тўғри тенгламаларда кўрсатилаверади (2.25), тенгламадаги сингари ёки 1 моль модда ўзгаришидаги энтальпия ўзгариши билан белгилаб қўйилади.

Реакциянинг иссиқлик эффекти технологик жараёнлардаги иссиқлик ҳодисаларини аниқлаш учун зарурдир. Ажраган (ёки ютилган) иссиқлик миқдори қандайдир модда ёки маҳсулотга айланган миқдорига боғлиқ бўлади. Агар (2.25) тенгламада ёзилгандек бўлса, унда

$$q = Q_p \Delta N_A / v_A$$

**Мувозанат.** Қимёвий технологиядаги дастлабки ҳисоблардан бири термодинамик жиҳатлар бўлди. Бунда қимёвий таъсирлашаётган системалар мувозанати ҳисобга олинмайди: бу ҳануз долзарб масалалардан бири бўлиб қолмоқда.

Аралашманинг мувозанатдаги таркиби. Таъсирлашаётган модда (2.1) тенгламага мувофиқ мувозанат константаси  $K$  билан боғлиқдир:

$$K_M = \left( \frac{C_R^{v_R} C_S^{v_S} \dots}{C_A^{v_A} C_B^{v_B} \dots} \right)_M = \prod_i (C_i^{v_i})_M, \quad (2.26)$$

бу ерда  $v_i$  – (2.1) тенгламадаги стехиометрик коэффициентлар.

(2.26) тенгламадаги  $C_i$  концентрациялар мувозанатда деб олинади. Агар таъсирлашаётган аралашма бир неча стехиометрик тенгламаларда ифодаланса (мураккаб реакция), унда бундай аралашмадаги мувозанат (2.26) даги сингари шунча сондаги тенглама билан ёзилади.

Мувозанат константаси  $K_M$ -термодинамик функция бўлиб, у фақат температурага боғлиқ бўлади.

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T = -RT \ln K_M; \quad (2.27)$$

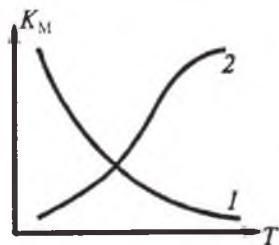
Агар реакция аралашма идеал бўлса (юкори бўлмаган босим ва температура, суюлтирилган эритмалар), унда  $S_T$  нинг маълумотлардаги катталигидан фойдаланиб,  $K_M$  ни (2.27) тенгламадан ҳисоблаб топиш мумкин бўлади. Кўпгина реал аралашмалар идеал ҳисобланмайди ва  $K_M$  ни ҳисоблашда қуйидаги кўринишга эга формулалардан:

$$K_M = K_{M0} e^{-\Delta H/RT} = K_{M0} e^{Q_M/RT} \quad (2.28)$$

ёки бошқа мураккаб омиллардан, шу жумладан, босимдан ҳам фойдаланилади. (2.27) ва (2.28) тенгламалардан эндотермик реакцияларда  $K_M$  температура ортиши билан кўпаяди ( $Q_M < 0$ ) ва экзотермик реакциялар учун пасаяди ( $Q_M > 0$ ) (2.8-расм).

Газ фазасида таъсирлашувчи аралашма учун (2.26) тенгламада  $p_i$  компонентларнинг мувозанатдаги парциал босимини қўллашди:

$$K_M = \prod_i (P_i^{v_i})_{\text{мув}} \quad (2.29)$$



2.8-расм. Температура  $T$  билан мувозанат константаси  $K_M$  нинг экзотермик (1) ва эндотермик (2) реакциялар учун ўзгариши.



Агар таъсирлашаётган системада қандайдир компонент қаттиқ ҳолда бўлса, унда унинг концентрацияси шу билан боғлиқлиги маълум бўлади. Бу доимий катталикни одатда мувозанат константасига киритишади. Бунда (2.29) ифодага фақат газ ҳолатда бўлган компонентларнинг мувозанатдаги парциал босимлари кирази. Юқорида кўрсатилган реакцияда  $\text{CO} + \text{H}_2 = \text{C}_{\text{кат.}} + \text{H}_2\text{O}$  қаттиқ курум  $\text{C}_{\text{кат.}}$  ҳосил бўлади ва тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$K_M = \left( \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}} \right)_{\text{мув.}}$$

Шунга ўхшаш, реакция ўтишида фақат газ ҳолатдаги компонентларнинг парциал босимидан (2.23) тенгламада Гиббс энергиясини ҳисоблаш учун фойдаланилди.

**Мувозанатдаги таркибни ҳисоблаш.** Таъсирлашаётган аралашмадаги барча компонентлар концентрациялари ўзаро стехиометрик тенглама билан боғлиқ бўлиб, уларни таянч компонентнинг дастлабки таркиб ва айланиш даражаси билан аниқлаш мумкин бўлади. Мувозанатда айланишнинг мувозанат даражаси  $x_M$  га эришилади, бу пайтда (2.26) ёки (2.29) куйидаги кўришга эга бўлади.

$$K_M = f(x_M)$$

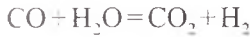
$x_M$  ни аниқлаб, кейин барча компонентларнинг мувозанатдаги концентрациялари топилади.

1. Куйидаги оддий қайтар реакция:  $A=R$  ни мисол қилиб оламиз. А компонентнинг бошланғич концентрацияси  $C_{A0}$  бўлади, R компонент йўқ. Мувозанатда  $C_{A\text{мув.}} = C_{A0}(1-x_M)$  ва  $C_{R\text{ мув.}} = C_{A0} x_M$  бўлади. (2.26) тенгламадан топамиз:

$$K_M = \left( \frac{C_R}{C_A} \right)_{\text{мув.}} = \frac{1-x_M}{x_M} \text{ ва } x_M = \frac{K_M}{1+K_M}. \quad (2.30)$$

Экзотермик ва эндотермик реакциялар учун  $K_M(T)$  боғланишни ҳисобга олиб (2.8-расмга қаранг), бу реакциялар учун  $x_M(T)$  боғланишни чизиш мумкин (2.9-расм).  $x_M$  нинг температура билан ўзгариш характери исталган экзотермик ва эндотермик реакциялар учун тегишлича шундай бўлади.

2. Иккинчи мисолни кўрайлик. Углерод монооксид CO сув буғи билан конверсия қилинапти:



Мазкур реакция учун

$$K_M = \left( \frac{p_{\text{CO}} p_{\text{H}_2}}{p_{\text{CO}_2} p_{\text{H}_2\text{O}}} \right)_{\text{мув.}}$$

бу ерда компонентлар парциал босими и  $p_i = PC_i$ ;  
 $P$  – умумий босим.

$\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  ларнинг бошланғич аралашмадаги концентрациялари  $C_{10}$ ,  $C_{20}$ ,  $C_{30}$ ,  $C_{40}$  га, мувозанатда эса тегишлича  $-C_{1M}$ ,  $C_{2M}$ ,  $C_{3M}$ ,  $C_{4M}$  ларга тенг булади.  $C_{iM}$  ни мувозанатдаги айланиш даражаси  $x_M$  оркали ифодалаймиз:

$C_{1M} = C_{10}(1-x_M)$ ;  $C_{2M} = C_{20}-C_{10}x_M$ ;  $C_{3M} = C_{30}+C_{10}x_M$ ;  $C_{4M} = C_{40}+C_{10}x_M$ ;  
 унда (2.29) тенгламадан  $x_M$  га нисбатан квадрат тенглама оламиз:

$$K_M = \frac{(C_{30}+C_{10}x_M)(C_{40}+C_{10}x_M)}{C_{10}(1-x_M)(C_{20}-C_{10}x_M)}$$

Унинг ечими:  $x_M = a \pm \sqrt{a^2 - b^2}$ ,

бу ерда  $a = K_M/[2C_{10}(K_M-1)]$ ;  $b = (C_{20}/C_{10})[K_M - C_{30}C_{40}/(C_{10}C_{20})]$ .

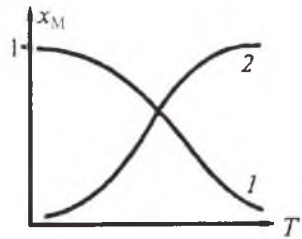
«+» ёки «-» белгиси  $x_M$  катталиги физик мазмунга эга билангина танланади ( $0 < x_M < 1$ ). Мазкур ҳолда белги «минус» қилиб олинади.

3.  $x_M$  учун кўпинча аналитик ифодани олиб бўлмайди.  $\text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{SO}_3$  реакцияси хажм ўзгариши билан боради. Бошланғич концентрациялари  $\text{SO}_2$  ва  $\text{O}_2$  нинг тегишлича  $C_{10}$  ва  $C_{20}$  га тенг. Компонентларнинг парциал босимини  $p_i = PC_i$  ( $P$ –умумий босим)дан оламиз. (2.14) тенгламадан фойдаланиб, компонентлар концентрацияларини  $\text{SO}_2$  нинг айланиш даражаси  $-x$  оркали ифодалаймиз:

$$C_1 = \frac{C_{10}(1-x)}{1+0,5C_{10}x}; \quad C_2 = \frac{C_{20}-0,5C_{10}x}{1-0,5C_{10}x}; \quad C_3 = \frac{C_{10}x}{1+0,5C_{10}x}$$

Мувозанатда (2.29) тенглама куйидаги кўришишга ўтади:

$$x_M = K_M \left[ K_M + \sqrt{1 - 0,5C_{10}x_M / P(C_{20} - 0,5C_{10}x_M)} \right]^{-1} \quad (2.31)$$



2.9-расм. Мувозанатдаги айланиш даражаси  $x_M$  нинг қайтар экзотермик (1) ва эндотермик (2) реакциялар учун температура  $T$  билан ўзгариши.

Кимёвий мувозанат ўзгариши ташқи шароит ўзгариши билан амалга ошади. Таъсир Ле-Шателье номи билан аталувчи принцип коидасига биноан амалга ошади. Бунда кимёвий мувозанатда турган системага таъсир этилса, унда система шу таъсирни камайтириш ҳолатига қараб ўзгаради.

Кимёвий жараёни бошқариш шу қоидага мос усулларга таянади.

Мувозанатга таъсир этувчи омилларга тўхталамиз.

1. Температура. Температуранинг ошириш қўшимча иссиқлик келтиради. Агар эндотермик реакция тўғри йўналишда, экзотермик реакция эса тесқари йўналишда борса, бу эффектни камайтиришга эришиш мумкин бўлади. Тегишлича, мувозанатдаги айланиш даражаси эндотермик реакция учун ошади, экзотермик реакция учун эса камаяди.  $x_m(T)$  бундай ўзгариши 2.9-расмда кўрсатилган. Бундан  $x_m$  нинг ошириш усули келиб чиқади – эндотермик реакция учун температура оширилади, экзотермик реакция учун эса камайтирилади.

2. Босим. Ле Шателье принципига кўра, босим  $P$  ни оширишга мувозанат сурилиши қаршилиқ қилиши керак, бу босимнинг пасайиши, яъни реакцион аралашма ҳажмининг камайишига олиб келади. Агар реакция ҳажм камайиши билан борса, унда босим  $P$  нинг кўпайиши юқори айланиш ( $x_m$  нинг ортиши)га олиб келади. Ва аксинча, реакцияда ҳажм ошувчи системада мувозанат  $x_m$  нинг камайиш томонига силжийди. Мана бу боғланиш  $p_1 = PC$ ; билан тенгламадан фойдаланиб, газ фазасидаги реакциялар учун қуйидаги тенгламани ёзиш имкони яратилади:

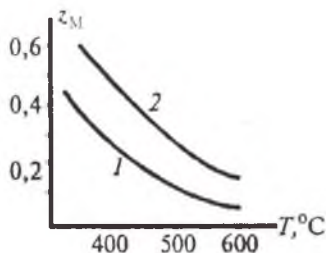
$$K_M = P^{\Delta \nu} \left( \frac{C_R^{YR} C_S^{YS} \dots}{C_A^{YA} C_B^{YB} \dots} \right)_M, \quad (2.32)$$

бу ерда  $\Delta \nu = (\nu_R + \nu_S + \dots) - (\nu_A + \nu_B + \dots)$  – реакцияда моллар сонининг ўзгариши.

Агар реакция ҳажм ошуви билан борса ( $\Delta \nu > 0$ ), унда  $P$  (ва  $P^{\Delta \nu}$  нинг ҳам) ошуви, 2.32 тенглигидан кўринадики,  $R$ ,  $S$ , маҳсулотларнинг концентрацияси камайишига олиб келади. Агар  $\Delta \nu < 0$  бўлса, унда  $P$  нинг ортиши ( $P^{\Delta \nu}$  нинг камайиши) маҳсулотлар концентрацияси ва айланиш даражасининг ўсуви билан компенсацияланади.

Аммиак синтези ҳажм камайиши билан боради. Босим  $P = 1$  ат ( $\approx 0,1$  МПа) бўлганда 1,0 фоз аммиак ҳосил бўлади. Лекин  $x_m$  нинг

температура пасайиши билан ортиши кучли совутишни талаб қилади, бунда айланиш тезлиги амалда нолга тенгдир. Амалиётда босим оширилади, реакция 30 ат (30 МПа) босим остида ўтказилади. Дастлабки аралашманинг стехиометрик нисбати  $H_2:N_2=3$  га тенг бўлиб, реакция охиригача шундай сақланади. Аммиакнинг мувозанатдаги концентрациясини  $C_M$  билан белгилаймиз. Бунда 1- $C_M$  азот билан водороднинг мувозанатдаги концентрациялари йиғиндиси бўлиб, тегишлича  $C_{1M}=0,25(1-C_M)$  ва  $C_{2M}=0,75(1-C_M)$  га тенг бўладилар, (2.32) тенглама куйидаги кўринишга ўтади:



2.10-расм. Аммиакнинг мувозанатдаги концентрацияси  $z_M$  нинг 10 МПа (1) ва 30 МПа (2) да температура  $T$  га боғлиқлиги.

$$K_M = \frac{4^4}{3^3 P^2} \cdot \frac{C_M^2}{(1-C_M)^4}.$$

Катта босимда реакцияон аралашма идеал газ бўлмагани боис эмпирик боғланиш  $K_M(T, P)$  ни тахминий формула билан ифодалаймиз:

$$K_M = 4,65 \cdot 10^{-11} P^{0,4} \exp(12720/T),$$

бу ерда  $P$  нинг катталиги – (МПа).

$C_M(P, T)$  нинг ҳисоблаб тошилган миқдорлари 2.10-расмда келтирилган.

Гетероген реакциялар учун ҳам худди шундай хулосалар қилинади – босимнинг мувозанатни силжитиши реакциядаги аралашма ҳажми ўзгариши билан боғлиқдир. Босимни ошириш курум ҳосил қилиш реакциясида углерод ҳосил бўлиш вазиятини вужудга келтиради (2.24). Пайдо бўлиш вазияти юзага келади (2.24).

Суюк ва конденсирланган муҳитда (суюк ва қаттик) босим мувозанатдаги таркибга таъсир қилмайди.

3. Реакцияон аралашмани суюлтириш – инерт моддани кўшиш, босимни камайтириш билан баробардир. Буни бутанни бутиленгача дегидрирлаш реакциясида кўрсатамиз:



Мазкур жараён реакцион аралашма ҳажми ортиш билан боради. Бутаннинг дастлабки микдори  $C_{10}$ . Бутаннинг мувозанатдаги айланиш даражаси  $x_M$ , бунда (2.29) тенгламаси куйидаги кўринишга эга бўлади.

$$K_M = P \frac{C_{10}}{1 + x C_{10} x_M} \cdot \frac{x_M^2}{1 - x_M}$$

Кўринадики, суюлтириш, бошқача айтганда  $C_{10}$  нинг камайиши бутан айланишининг мувозанатдаги даражаси –  $x_M$  нинг ўсуви билан компенсацияланади. Шу боис саноатда бутанни дегидрирлаш сув буғи иштирокида ўтказилади.

4. Мўллик ва реагентларни чиқариш. Таъсирлашаётган аралашма мувозанати куйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$K_M = \left( \frac{C_R^{rR} C_S^{rS}}{C_A^{rA} C_B^{rB}} \right)_{\text{м.в.}} \quad (2.33)$$

Дейлик, дастлабки ҳом ашёлардан бири, масалан, В нинг микдори оширилди (мўлликда олинди). Бунда (2.33) тенгликнинг амалда бўлиши учун дастлабки компонентлар концентрацияси камаяди, маҳсулотларники эса ( $C_R$ ,  $C_S$ ) кўпаяди, яъни А компонентларнинг айланиш даражаси ўсади. Буни ҳом ашёнинг қимматли компонентларини тўла ишлатиш мақсадида ҳисобга олинади.

Метаннинг даражаси унинг сув буғи билан реакциясида (буғ: метан=2:1 га тенг бошланғич нисбатда) 0,54 ни ташкил этади ( $P=4\text{МПа}$ ,  $T=1100\text{К}$ ). Саноатда қўлланилувчи сув бугининг мўллиги буғ: метан=4:1 нисбатда метаннинг максимал айланиши 0,74 гача етказишга имкон беради.

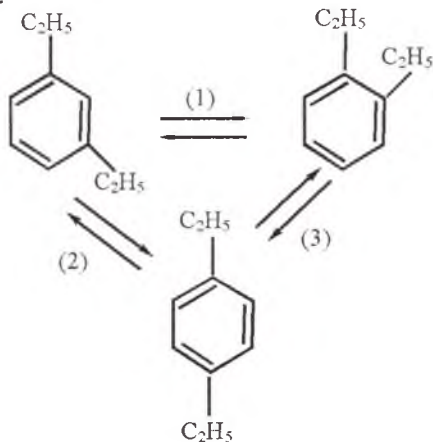
Реакция зонасидан бирор маҳсулотни чиқариш бошқа маҳсулотларнинг мувозанатдаги чиқишини оширишга имкон беради. Бу учувчан маҳсулотни ҳайдаш орқали амалга оширилади ва бу реакцион – ректификацион жараёнлар асосини ташкил қилади.

Реакцион аралашманинг термодинамик таҳлили шароитни (дастлабки таркиб, температура, босим) реагентларнинг мувозанатдаги нисбатини, яъни кимёвий айланиш тўла тамомлангандаги аралашма таркибига таъсирини аниқлайди. Олинган маълумотларга асосланиб жараённи, айланишнинг мум-

кин қадар тўлалиги, маҳсулот чиқишини мақсадга етказиш шароитлари ҳақида ҳулоса чиқарилади.

Мисоллардан бири – аммиакнинг мувозанатини таҳлил қилишдир (2.10-расмга қаранг). Ундан кўринадики, катализатор ишлатилаётган 450–550°C температура оралиғида аммиакнинг саноатдаги чиқиши (концентрация 20 % дан юқори) босим 20 МПа бўлганда эришилади.

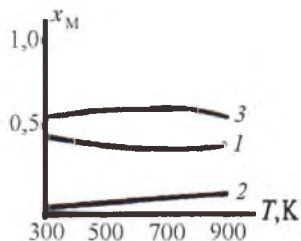
Яна бошқа мисол. Диэтилбензол (ДЭБ) изомеризациясида маҳсулот чиқиши (ядрогаги этил группалари ҳолатининг ўзгариши)ни таҳлил қилайлик:



Мазкур схемада учта изомер айланишдан иккитаси – стехиометрик мустақилдир. (1) ва (2) реакцияларнинг мувозанат константалари тенг:

$$K_{M_1} = 1,74 \exp^{(-100)/T}; \quad K_{M_2} = 0,86 \exp^{(-860)/T}.$$

Мувозанатда  $K_{M_1} = P_m/P_o$  ва  $K_{M_2} = P_n/P_o$ , бу ерда  $P_o$ ,  $P_m$ ,  $P_n$  – тегишлича орто, мета ва пара-изомерларнинг мувозанатдаги парциал босими. Дастлабки аралашмада о-диэтилбензол мавжуд. Унинг мета ва параизомерларга айланиш даражаси тегишлича  $x_m$  ва  $x_n$ . Улар шу изомерлар микдори билан мос келади. Мувозанатдаги шароитлар:



2.11-расм. Диэтилбензол изомерлари мувозанатдаги микдорларининг температурага боғлиқлиги (1-м.- 2-н-, 3-о-диэтилбензол).



$$K_{M1} = \frac{x_M}{1 - x_M - x_n}; \quad K_{M2} = \frac{x_n}{1 - x_M - x_n}.$$

бундан келиб чиқади:

$$x_M = \frac{K_{M1}}{1 + K_{M1} + K_{M2}}, \quad x_n = \frac{K_{M2}}{1 + K_{M1} + K_{M2}}.$$

Барча изомерлар микдори 2.11-расмда келтирилган. Булардан п-диэтилбензол катта қизиқиш туғдиради. Унинг максимал чикиши 600 К атрофида бўлиб, лекин температура билан кам ўзгаради. Аралашма нисбатан кўп бўлиб, 35% гача боради, бунда температура ўсиши билан кам фойдали ортоизомер микдори кўпаяди. Энди бошқа технологик хулосалар ҳам қилиш мумкин бўлади.

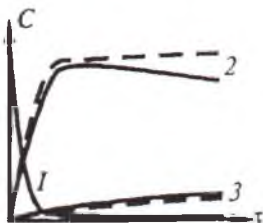
Келтирилган мисоллар тахминий бўлиб, уларда мантқ ва термодинамик таҳлилнинг имконлари кўрсатилди.

### 2.2.3. Кимёвий реакциялар кинетикаси

**Айланиш схемаси.** Кинетика модда қандай ва қай тезликда бошқасига айланишини ифодалайди. Ҳосил бўлган ва қолган компонентлар микдорини айтиб бериш учун стехиометрик тенгламаларга эга бўлиши керак, булар сони уларнинг мустақиллиги шароитидан келиб чиқади. Аммиак оксидланишининг стехиометрияси икки тенглама билан ифодаланади:



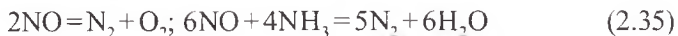
Агар аммиак оксидланишида фақат NO билан N<sub>2</sub> ҳосил бўлишдан иборат параллел бўлганида унда жараён 2.12-расмда кўрсатилганидек, пунктир чизиқлар билан ифодаланган бўларди, аммиак тўла оксидланиб бўлгач, NO билан N<sub>2</sub> микдори ўзгармайди.



2.12-расм. Вақт  $\tau$  билан аммиак оксидланишида NH<sub>3</sub> (1), NO (2) ва N<sub>2</sub> (3) концентрацияларининг ўзгариши. Пунктир – (2.34) тенгламага мос равишда, қалин чизиқ-экспериментда ва (2.36) тенгламадаги айланиш схемасига мос келиши тасвирланган.

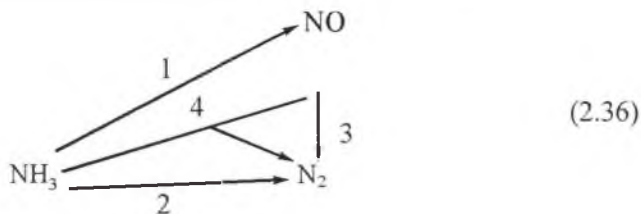
2.12-расмда NO билан N<sub>2</sub> концентрацияларининг реал ўзгариши калин чизиқлар билан чизилган. Расмдан кўринадики.

NO нинг миқдори аввалига ўсаяпти, кейин камааяпти. Демак, O билан бир каторда (2.34) тенгламага мувофиқ унинг айланиши давом этапти. (2.34) тенгламада кўрсатилган реакциялардан ташқари бошқа айланишлар ҳам амалга ошаяпти:



Айланиш схемасидан таъсирлашувчи системада реал бирикниш (айланиш йўллари)лар борлигини англаш мумкин.

Схема (2.34)–(2.35) тенгламаларга ўхшаш кимёвий (кинетик) кўринишда ёки график ҳолатда ифодаланиши мумкин:

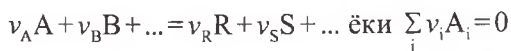


Айланиш схемаси хусусий реакциялар ёки босқичлардан ташкил топган. Стехиометрик тенгламалардан фаркли ўларок, кинетик тенгламаларни исталганча ёзиб бўлмайди ва улар сони компонентларнинг реал айланиш йўлларига мос келиши керак.

**Айланиш тезлиги ва реакция тезлиги.** Реагентларнинг босқичлар бўйича кай ҳолатда ўзгариши модданинг айланиш тезлигига боғлиқ бўлади. Бу тезликни  $w_i$  билан белгилаймиз, бу  $i$  ерда модда номи, табиий шароитни қабул қиламиз:  $w_i < 0$ , бунда модда (дастлабки) сарфланади ва  $w_i < 0$ , модда (маҳсулот) ҳосил бўлади.

*Айланиш тезлиги*  $w_i$  модданинг вақт бирлигида реакция кенглиги бирлигида айланаётган миқдорини кўрсатади. Агар реакция бирор идишда кетаётган бўлса, унда реакция кенглиги бирлиги қилиб ҳажм бирлиги, агар юзада бораётган бўлса, юза бирлиги олинади.

Реакциянинг кинетик тенгламасидан



ва миқдор  $\Delta N_{A_i}$  билан айланган модда нисбати  $\Delta N_{A_i} / \nu_i = \text{const}$  лигидан  $w_i / \nu_i = \text{const}$  келиб чиқади.

Бу нисбатни реакция тезлиги  $r = w_i/v_i$  дейилади. Айланиш тезлигининг белгиси  $w_i$  модда сарфланаётгани ёки ҳосил бўлаётганлигини англатади. Реакция тезлиги  $r$  доимо мусбат кийматга эга бўлади. Моддаларнинг айланиш тезлиги реакция тезлиги орқали ҳисобланади:

$$w_i = v_i r. \quad (2.37)$$

Агар реакция мураккаб бўлса ва модда бир неча алоҳида реакцияда иштирок этаётган бўлса, унда:

$$w_i = \sum_j v_{ij} r_j, \quad (2.38)$$

бу ерда  $r_j$  –  $j$  реакциянинг тезлиги (мураккаб реакция босқичи);  $v_{ij}$  –  $i$  модданинг  $j$  реакциядаги стехиометрик коэффициенти.

Реакция тезлиги  $r = dC/dt$  кўринишда ҳам аниқланади, бунда концентрациянинг вақт бўйича ўзгариши ёпиқ идишда ўтказилган реакция учун фойдаланилади, А реакция идишга узлуксиз дастлабки модда киритиб турилса ва тегишли микдордаги маҳсулот чиқариб турилса, унда концентрация вақт бўйича ўзгармай қолади, яъни  $dC/dt = 0$  тенг бўлади. Лекин реакция ўтаверади.  $r = dC/dt$  тенглама фақат ёпиқ идишдаги реакция тезлигини ифодалашга ёрдам беради, лекин унинг ифодаси (белгиси) бўла олмайди.

**Реакциянинг кинетик модели.** Реакция тезлиги унинг ўтказилиш шароитларига боғлиқ бўлади, асосан температура ва компонентлар концентрацияси (парциал босимлар) катта ўрин тутади. Каталитик жараёнларда реакция тезлигига яна катализатор концентрацияси, фотохимёвий реакцияларда эса нурланиш интенсивлиги ва бошқалар таъсир этади.

Айланиш тезлиги ёки реакция ўтишининг шароитга боғлиқлиги **кинетик тенглама ёки реакциянинг кинетик модели** дейилади.

Кинетик тенграмалар шакли ҳар хиллиги билан ажралади. Кинетик моделлар тузиш усуллари ва унинг параметрларини аниқлаш усуллари физик кимёнинг махсус бўлимини ташкил этади.

Элементар реакция  $A + \nu B = R + \dots$  учун кинетик тенглама таъсир этувчи массалар қонуни асосида тузилади («Кимёвий реакция тезлиги таъсирлашаётган моддалар концентрациялари кўпайтмасига пропорционалдир»):

$$r = kC_A^x C_B^y;$$

бу ерда  $v$  кимёвий таъсирда  $B$  нинг неча молекуласи иштирок этаётганлигини билдиради.

Кўпгина реакциялар механизми мураккаб бўлиб, бир неча кетма-кет ўзаро таъсирлар (боскичлар)дан ташкил топади. Кинетик моделлар мураккаб ифодалар бўлиб, уларнинг реакция механизми асосида ёзиш мумкин бўлади. Кинетик моделнинг кўриниши куйидагича ифодаланади:

$$r = \frac{kC_1^n C_2^m \dots}{(1 + \sum a_i C_i)^p},$$

бу ерда  $k$ ,  $a_i$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $p$  – модел параметрлари, тезлик константалари ва элементар боскичларнинг комбинацияларидир.

Гомоген каталитик реакция кинетик тенгламасига катализатор концентрацияси  $C_k$  киради.

Физик таъсирдаги реакция тезлиги (электр кимёвий, фотохимёвий ва ҳ.к.лар) мазкур таъсир интенсивлигига боғлиқ бўлади. Фотохимёвий реакция тезлиги нурланиш интенсивлиги  $J_0$  га пропорционалдир:  $r = kJ_0 C$ . Электрхимёвий реакцияда ҳосил бўлган модда миқдори Фарадей конунига биноан электролитдан ўтган электр токи миқдorigа пропорционалдир:

$$g = \alpha Q = \alpha it,$$

бу ерда  $\alpha$  – мазкур модданинг электр кимёвий эквиваленти,  $i$  – ток кучи,  $t$  – вақт.

Концентрацияларнинг қандайдир оралиғида кинетик тенглама ни оддийроқ формула билан аппроксимациялаш мумкин, масалан:

$$r = kC^n.$$

Кинетик тенгламанинг бундай кўринишини кейинроқ – кимёвий жараёнларнинг хоссаларини кузатганимизда ишлатамиз.

Кинетик тенгламадаги  $k$  – **тезлик константаси** бўлиб, Аррениус тенгламасида температура билан куйидагича боғлиқдир:

$$k = k_{0c} - E/RT, \quad (2.39)$$

бу ерда  $E$  – активлаш энергияси.  $E$  қанча катта бўлса,  $k$  температура билан шунчалик ортиб боради.

Концентрациянинг даража кўрсаткичи  $n$  **реакция тартиби** дейилади.

Оддий қайтар реакция  $A \rightleftharpoons R$  амалда мураккаб ҳисобланади, унда иккита реакция амалга ошади:  $A$  модда  $K$  моддага айланади (тўғри реакция) ва  $R$  модда  $A$  га айланади (тесқари реакция). Айла-ниш тезлиги, яъни реакция тезлиги тўғри  $r_1$  ва тесқари реакция  $r_2$  нинг фарқига тенг бўлади:  $r = r_1 - r_2$ . Иккала реакция биринчи тар-тибли дейлик:  $r_1 = k_1 C_A$ ,  $r_2 = k_2 C_R$ .

Унда:

$$r = k_1 C_A - k_2 C_R = k_1 C_A \left[ 1 - \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A} \right]$$

Мувозанатда  $r=0$ ,  $C_A$  ва  $C_R$  – мувозанатдаги айланиш даражалар-и.

Квадрат қавсдаги ифода нолга тенг бўлса, бу мумкин бўлади. Лекин мазкур қайтар реакция учун  $(C_R/C_A)_{\text{мув.}} = K_M$ , яъни

$$k_1/k_2 = K_M \quad (2.40)$$

$k_1$ ,  $k_2$ ,  $K_M$  лар температурага боғлиқ бўлиб, қуйидаги қўринишга эгадирлар

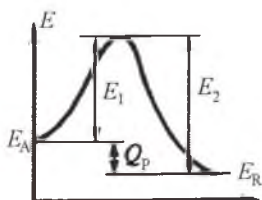
$$k_1 = k_{10} e^{-E_1/RT}; \quad k_2 = k_{20} e^{-E_2/RT}; \quad K_M = K_{M0} e^{Q_M/RT}$$

Буларни (2.40) тенгламага қўйиб, оламиз:

$$Q_M = E_2 - E_1, \quad (2.41)$$

яъни қайтар реакциянинг иссиқлик эффекти тесқари ва тўғри реак-циялар активланиш энергиялари фарқига тенгдир. Бу фундаментал «реакция йўли-таъсирлашаётган система потенциали» диаграмма-сидан келиб чиқади (2.13-расм).

Таъсирлашаётган аралашма энергияси  $E$  нинг реакция ўтиши билан ўзгариши (реакция йўлида). Диаграммадаги  $E_A$  ва  $E_R$  лар – дастлабки модда  $A$  билан  $R$  маҳсулотнинг тегишлича потенциалла-ри. Улар фарқи  $Q_M$  – айланиш натижасида ажралган энергия.  $A$  ни



Реакция йўли

2.13-расм.

$R$  га айлантириш учун энергетик қаршилиқ  $E_1$  (тўғри реакциянинг активланиш энергия-си)ни энгиш керак бўлади. Акс йўналишда потенциал қаршилиқ потенциали  $E_2$  га тенг бўлади. Булар орасидаги фарқ иссиқлик эф-фекти  $Q_R$  ни ташкил этади.

Экзотермик реакция учун  $Q_M > 0$  ва  $E_2 > E_1$  дир.

Эндотермик реакция учун эса  $Q_v < 0$  ва  $E_2 < E_1$ . Ихтиёрий қайтар реакция тезлигини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$r = r_1 \left[ 1 - \frac{1}{1 - K_M} \prod_i C_i^{v_i} \right], \quad (2.42)$$

бу ерда  $r_1$  – тўғри йўналишдаги реакция тезлиги;  $\prod_i C_i^{v_i}$  – массалар таъсири қонунининг (2.26) тенгламадаги сингари ифодаси, лекин концентрациялар мувоzanатдагидек эмас, балки одатдагидек олиннади.

## 2.2.4. Кимёвий жараёнлар синфланиши

Синфлашдан мақсад – жараённи ташкил қилувчи таркибларидан муҳимларининг у ёки бу хоссалари комбинацияланганда унинг қонуният ва ўзига хос томонларини аниқлаб олишдир.

Кимёвий жараён ўзаро боғланган ҳодисалар мажмуаси эканлигини эътиборга олиб, синфлаш турли белгиларга қараб олиб борилади. Синфлаш тармоқланган тузилишга эгадир.

Кимёвий жараёнлар синфланиши:

А. Физик-кимёвий белгилар

Кимёвий реакциялар типлари	Кимёвий таъсир остида кимёвий бирикмиш (каталитик реакция)
Термодинамик кўрсаткичлар	физик таъсир билан иссиқлик эффекти экзотермик жараён эндотермик жараён қайтарлиги қайтмас реакция қайтар реакция
Кинетик характеристика	айланиш схемаси оддий реакция мураккаб реакция параллел схема кетма-кет схема умумий ҳолат кинетик модель



## Б. Физик белгилар

Реагентларнинг фазавий бир фазали жараён  
реагентлар билан таркиби кўп фазали жараён  
фазалар ҳолати  
газ  
суюқлик  
каттик

Кимёвий жараёнда кимёвий реакция амалга ошади ва фазалар-аро кўчиш ҳодисалари амалга ошади, бунда реагентлар таъсирлашув жойига етказиб берилади. Шу боис синфлашнинг икки гуруҳли белгисига қараб ажратилади – булар физик-кимёвий ўтаётган реакцияни характерловчи ва физик муҳитнинг реагентлар билан фазавий таркибини характерловчи бўладилар.

Синфлашнинг физик-кимёвий белгилари.

Кимёвий айланиш рўй бериши учун зарур таъсир ўтказиш – кимёвий реакция хили бўйича синфлаш белгисидир. Агар фақат реагент учрашишлари етарли бўлса, яъни молекулалар энергияси улар айланишига етарли бўлганда бу тўғридан-тўғри кимёвий таъсир бўлади. «Кимёвий таъсир» доирасидаги реакциялар катализаторлар иштирокида боради. Катализатор нафақат реакция тезлигини оширади, балки реакция учун янги йўллар ҳам очиб беради. «Физик таъсир» остидаги реакциялар электр токи, нурланиши, фото, радиацион ва механик-кимёвий таъсирлар остида боради.

Термодинамик белгилар энергетик жараён (иссиқлик эффекти) билан реакциянинг қайтарлигини ҳисобга олади. Реакция энергетикаси нафақат жараёндаги ҳодисалар иссиқлик эффектини, балки мувозанатдаги ҳолатларни ҳам аниқлаб беради. Реакциянинг қайтарлиги реагентлар айланишининг принципиал қанчалик тўла бўлишини аниқлайди.

Кинетик белгилар реакция динамикасининг ўсувчи ва айланишлар йўналишини ҳамда реакция ўтишига шароит (концентрация, температура) таъсирини характерлайди. Синфлашнинг физик белгилари кимёвий жараённинг фазавий таркибини ўз ичига олади. Фазалар сони бўйича гомоген (бир фазали) ва гетероген (кўп фазали) жараёнлар мавжуд.

Гетероген жараёнда реагентлар турли фазаларда бўлади, бунда реакция фазаларнинг бирида ўтиши ҳам мумкин, яъни реакциянинг

ўзи гомоген бўлиши ҳам эҳтимолдан холи эмас. Реагентларни реакция ўтиш жойига етказиш ҳам жараённинг ўзига хос жиҳатларидан ҳисобланади. Моддалар кўчиши таъсирлашадиган фазалар агрегат ҳолатига боғлиқ бўлиши табiiй, албатта.

Турли белгиларнинг мужассамлашуви жараённинг ўзига хос хусусиятлари ва хоссаларида кўринади. Кимёвий жараённи тадқиқ қилиш ва ўрганиш мақсади ундаги айланиш тезлиги ва айланиш тезлигига таъсир этувчи шароит таъсири ҳамда реакция турини билишга тақалади, булар олинган турли белгилар таснифларини комбинациялаш орқали синфланишдан келиб чиқади.

## 2.3. ГОМОГЕН КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

Гомоген кимёвий реакциялар одатда бир фазада ўтади, булар кўпроқ газ ёки суюқ фазалар бўлиб, танланган ҳажмда реакциянинг ўтиш шароитлари тенглашади. Бу ерда кўчиш ҳодисаларининг аҳамияти катта бўлмагани учун гомоген кимёвий жараён қонуниятлари кимёвий реакция қонуниятлари билан мос тушади.

### 2.3.1. Оддий реакция

**Қайтмас реакция**  $A=R$  қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади.

$$r = kC^n. \quad (2.43)$$

Реакция тезлиги концентрацияга боғлиқ 2.14, а-расмда кўрсатилган. Айланиш даражаси  $x = (C_0 - C)/C_0$  га ўтиб, оламир

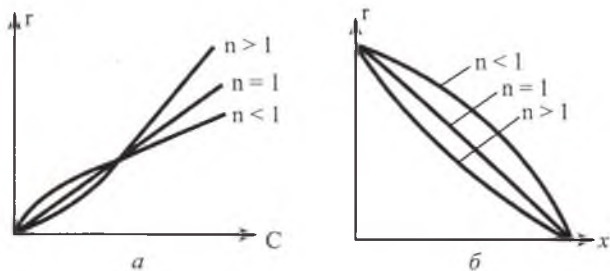
$$r = kC_0^n(1-x)^n. \quad (2.44)$$

(х) боғланиш 2.14, б-расмда келтирилган.

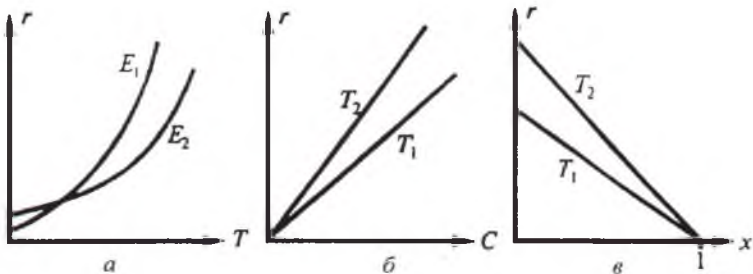
Реакция тартиби n тезлик темпининг концентрацияга қараб ўзгаришини белгилайди – у юқорирок тартибли реакция учун юқори бўлади.

Тезлик константаси k температура билан Аррениус тенграмаси (2.39) орқали боғланади.  $r(T)$  нинг ўзгариш характери k (T) никига ўхшашир (2.15, а-расмга қаранг). Активланиш энергиялари тур-

лича бўлган ( $E_1$  ва  $E_2$ ) икки реакция учун тезликнинг температура билан ўсиши активланиш энергияси юқориникида рўй беради. (2.15, *a*-расмда  $E_1 > E_2$  лиги кўриниб турибди). Температуранинг ошуви,  $r$  (C) ва  $r(x)$  боғланишларни ўзгартиради. Реакция тезлигининг (2.15, *б*) расмдаги концентрацион ва (2.15, *в*) расмдаги конверсион эгри чизиқлари  $T_1$  ва  $T_2$  температуралар учун кўрсатилган бўлиб, бунда  $T_1 > T_2$ ] дир.



2.14-расм. Оддий қайтмас реакция тезлиги  $r$  нинг дастлабки реагент концентрацияси  $C$  (*a*) ва айланиш даражаси  $x$  (*б*)га боғлиқлиги;  $n$ -реакция тартиби.



2.15-расм. Температура  $T$  нинг оддий қайтмас реакция  $r$  нинг тезлигига таъсири. ( $T$ ) (*a*) энергия активациялари  $E_1$  ва  $E_2$  ( $E_1 > E_2$ ) бўлган реакциялар учун;  $rC$  (*б*) ва  $r(x)$  (*в*)  $T_1$  ва  $T_2$  ( $T_2 > T_1$ ) температураларда.

$T_2$  юқорирок температурада жараён тезлиги ҳам юқорирок бўлади –  $T$  кўтарилиши билан реакциянинг тезлик константаси  $k$  ўсади, буни (2.43) ва (2.44) тенгламаларидан реакция тезлиги кўтарилиши ҳам исботлаб турибди. (2.44) тенгламадан кўринадик, бошланғич концентрация  $C_0$  нинг  $r(x)$  га боғлиқлиги температура таъсирига яқин бўлади:  $C_0$  нинг ошуви айланишнинг мазкур даражасида тезликнинг ошувига олиб келади.

Температуранинг ошуви қайтмас реакция жараёнини интенсификациялайди. Агар максимал интенсификациялаш зарур бўлса (буни оптимал шароит деб олинса), унда температура ихтиёрий концентрация (айланиш даражаси)да мумкин қадар юқори бўлиши керак. Температурани чеклаш нохуш реакцияларга, жумладан, ўзидан-ўзи алангаланиш, аппаратура материалларга салбий таъсир кўрсатиш ёки бошқаларга олиб келиши мумкин.

**Қайтар реакция**  $A=R$  икки йўналишда куйидаги биринчи тартибли кинетик тенглама билан ифодаланади:

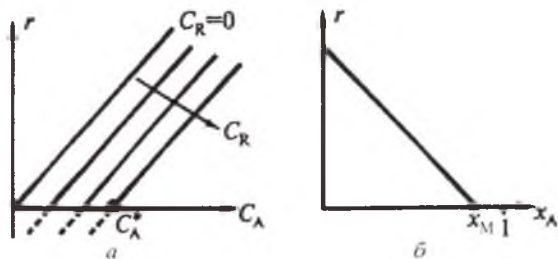
$$r = k_1 C_A - k C_R \quad (2.45)$$

Модомики, реакция тезлиги икки компонент концентрациясига боғлиқ экан, унда  $r(C_A)$  боғланиш  $C_R$  нинг турли катталикларида олинган эгри чизиқлар серияси билан кўрсатилади (2.16, а-расмга қаранг).

Қайтар реакциядаги ( $r=0$  га тенглигида) мувозанат маълум нисбатда  $C_R/C_A = K_m$  бўлади. ( $C_R$ ) нинг бир қиймати 2.16, а-расмда  $r(C_A)$  эгри чизигининг абсцисса ўқи билан учрашувидаги  $C_A^*$  концентрациядаги  $C_A$  ва  $C_R$  нинг мувозанатига мос келади. Агар  $C_A < C_A^*$  бўлса, унда тезлик манфий қийматга (2.16-расмдаги пунктлар чизиқлари) эга бўлади, бунда реакция тескари йўналишда кетади.

Реакция тезлиги учун бир функционалли боғланиш олиш мақсадида А компонентнинг айланиш даражаси  $x$  га ўтамиз:

$$C_A = C_{A0}(1-x) : C_R = C_{A0} x$$



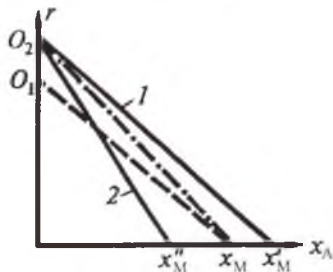
2.16-расм. Қайтар реакция  $r$  нинг дастлабки компонент  $C_A$  концентрациясига, махсулот  $C_R$  (а) концентрацияси ва айланиш даражаси  $x_A$  (б) нинг турли катталикларидаги боғлиқлиги.

ва

$$r = k_1 C_{A_0}(1-x) - k_2 C_{A_0} x = k_1 C_{A_0} - (k_1 + k_2) C_{A_0} x. \quad (2,46)$$

$r(x)$  – чизиги тўғри чизикда пасаяди (2.16, б-расмга қаранг)  $x = k_1 / (k_1 + k_2)$  нинг маълум бир қийматларида  $r = 0$  га эришилади. Илгари олинганидек:  $k_1/k_2 = K_M$ , (2.40) тенгламага қаранг ва  $x_M = K_M / (1 + K_M)$  (2.30) тенглама қаранг. Бу ифодалардан (2.46) тенгламада фойдаланиб,  $r = 0$  тенглиги мувозанатдаги ҳолатда бўлиши табиийлигини кўрамиз. Кинетик тенгламада иккита константа температура  $T$  га боғлиқлиги кўринадик, булар  $k_1$  ва  $k_2$  лардир. Иккала константа температура кўтарилиши билан ортадилар, лекин уларнинг  $r$  га таъсири ҳар хилдир:  $k_1$  нинг кўтарилиши реакциянинг тезлигини оширади,  $k_2$  эса пасайтиради. Уларнинг биргаликдаги таъсири константалардан қайси бирининг температура таъсирида тезроқ ўсиши, тўғри ва тесқари реакциялар ақтивланиш энергиялари нисбатига боғлиқ бўлади. Тўғри ва тесқари реакциялар ақтивланиш энергиялари нисбати экзо- ва эндотермик реакциялар учун ҳар хиллигини эслатиб ўтамиз.

$r(x)$  боғланиш  $r = k_1 C_A$  нинг  $x = 0$  ва  $r = 0$  лар оралиғидаги  $x_M$  нинг мувозанатдаги даражаси пасайиш чизигидир. Температура ортиши билан бошланғич ( $x = 0$  бўлганда) тезлик ортади. Мувозанат қандай реакция – экзо- ёки эндотермиклигига қараб ўзгаради. Эндотермик реакцияда  $x_M$  ўсади ва реакция тезлиги  $x = 0$  дан  $x = x_M$  оралиғидаги ўзгариш интервали  $x$  бўйлаб ортади (2.17-расмдаги 1 эгри чизиги). Мувозанат экзотермик реакцияда



2.17-расм. Биринчи тартибли қайтар реакция  $r$  нинг  $X_A$  нинг температура  $T_1$  (пунктир) ва  $T_2 > T_1$  (тўлиқ чизиклар) га боғлиқлиги: 1 – эндотермик реакция; 2 – экзотермик реакция; штрихпунктирли чизик – бошланғич концентрация оширилиши ва температура  $T_1$  да.

чапга сурилади. Температуранинг кўтарилиши  $x$  нинг унча катта бўлмаган қийматларида реакция тезлигининг ошуви га олиб келади.  $x$  нинг маълум қийматларидан бошлаб реакция тезлиги температура анча юқори бўлишига қарамай камайиб қолади (2.17-расмдаги 2 эгри чизик).

Газнинг маълум бир таркибдаги реакция тезлигига температура таъсирини

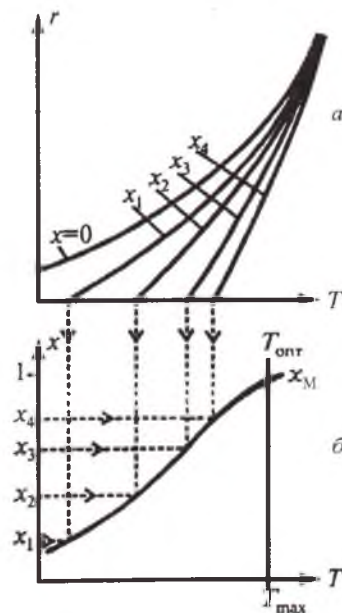
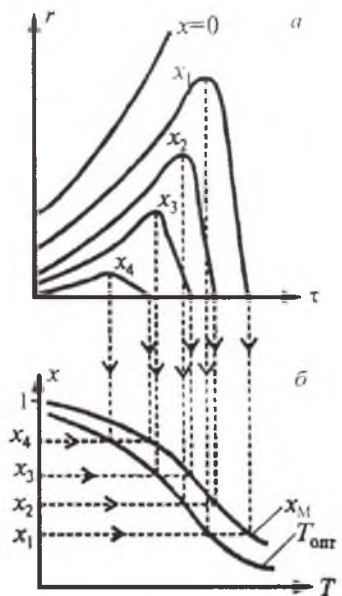
2.18-расм. Қайтар экзотермик реакция  $r$  нинг температура  $T$  (а) билан боғлиқлиги ва график  $T-x$  (б):  $x_m$  – айланишнинг мувозанатдаги даражаси;  $T_{opt}$  – оптимал температура.

таҳлил қилиш мақсадида  $T-r$  ва  $T-x$  координаталаридаги графикларни солиштириб чиқамиз.

Экзотермик қайтар реакцияни қараб чиқамиз (2.18, а-расм).  $T-x$  диаграммадаги берилган  $x$  да реакция тезлигининг пунктир чизиқ (масалан,  $x_1$  бўйлаб ўзгаришини кузатамиз (2.18, б-расм).

Паст температураларда, мувозанатдан узокда бўлинганда тесқари реакция таъсири кам бўлади. Тесқари реакция тезлиги тўғри реакциянинг тенг ва температура билан ўсуви 2.18, а-расмдан кўринади. Температура  $T$  ошуви билан тесқари реакция тезлиги тўғриникига қараганда тезроқ ўсиб боради, бунда экзотермик реакция учун  $E_2 > E_1$  бўлади. Тесқари реакциянинг айланишнинг умумий тезлигидаги ҳиссаси борган сайин кўпайиб боради. Маълум бир температурада бу реакция ортиб кетади, тезлик максимумдан ўтиб, кейин температура билан камай боради.

$x_1$  нинг берилган қиймати мувозанатдаги температурага етгач (мувозанат



2.19-расм. Қайтар эндотермик реакция  $r$  нинг температура  $T$  (а) га боғлиқлиги ва  $T-x$  графика. Белгилар 2.18-расмдаги сингаридир.

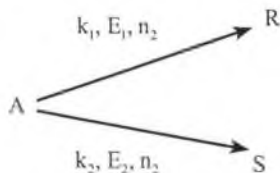


натдаги температура), реакция тезлиги нолга тенг бўлиб қолади.  $r(T)$  (оптималь температура  $T_{opt}$ . кўнғироқсимон эгри чизик кўринишда бўлади.)  $r(T)$  нинг боғлиқлиги бошка айланиш  $x$  ортиши билан реакция тезлиги кам бўлади, паст температураларда максимал тезликка эришилади ва мувозанат қарор топади –  $r(T)$  учун  $x_2 > x_1$ ,  $x_3 > x_2$  ва х.к. қийматларига қаранг. Агар реакциянинг максимал тезлигидаги температураларнинг барча қийматлари бирлаштирилса, унда  $T-x$  графигида 2.18, б-расмдаги *оптималь температуралар чизиги*  $T_{opt}$  келиб чиқади. У ҳар бир айланиш даражаси учун реакция тезлиги максимал бўлишини кўрсатади. Реакция ўтиши билан температуранинг пасайиши ( $x$  нинг ортиши) жараённинг максимал интенсивлигини билдиради. 2.19-расмда  $T-r$  ва  $T-x$  графиклари эндотермик реакция учун кўрсатилган. Агар  $x < x_m$  бўлса, унда реакция тўғри йўналишда боради, бу 2.19, б-расмдаги  $x-T$  кўламининг  $x_m(T)$  эгри чизигидан пастдалигига мос келади.  $x$  нинг ҳар бир қиймати учун реакция аралашманинг мувозанатдаги ва  $r=0$  бўлган температураси бордир. Мана шу мувозанатдаги температурадан бошлаб  $r(T)$  боғланиши ўсувчи эгри чизик кўринишига эга бўлади. Қайтар эндотермик реакциянинг оптималь температураси қайтмас реакциялар учун максимал бўлиши мумкин бўлганга тенглашади.

### 2.3.2. Мураккаб реакциялар

Мураккаб реакциялар босқичлардан ёки хусусий реакциялардан ташкил топади. Улар тезлигининг концентрация ва температурага боғлиқлиги оддий реакцияларники сингаридир. Мураккаб реакцияларда маҳсулотлар турли хусусий реакцияларда ҳосил бўлади, бундай маҳсулотларнинг ҳосил бўлиш тезлиги нисбати жараёни характерлайди.

**Айланишнинг параллел схемаси:**



*Дифференциал селективлик* дастлабки модданинг маълум маҳсулотга айланиш тезлигининг унинг умумий айланиш тезлигига нисбати билан аниқланади. Дастлабки модданинг бирор

маҳсулотга айланган қисми селективлик бўлиб, жараёнини характерлайди ва *интеграл селективлик* деб аталади.

Бу ерда тезлик константалари ( $k_1, k_2$ ), активланиш энергиялари ( $E_1, E_2$ ) ва хусусий реакциялар тартиблари ( $n_1, n_2$ ) кўрсатилган.  $R$  бўйича дифференциал селективлик:

$$S'_R = \frac{w_R}{w_R + w_S} = \frac{k_1 C_A^{n_1}}{k_1 C_A^{n_1} + k_2 C_A^{n_2}}, \quad (2.47)$$

бу ерда  $w_R$  ва  $w_S$ — $R$  ва  $S$  маҳсулотлари ҳосил бўлиш тезлиги.

Агар хусусий реакциялар тартиби бир хил бўлса ( $n_1 = n_2$ ), унда  $S_R = k_1 / (k_1 + k_2)$  ва  $S'_R$  лар концентрацияга боғлиқ бўлмайди.

Агар ( $n_1 > n_2$ ) бўлса, унда  $S'_R = k_1 C_A^{n_1 - n_2} / (k_1 C_A^{n_1 - n_2} + k_2)$  ва унда  $C_A$  катталашуви билан асимптотик равишда ўсиб,  $S'_R = 1$  га яқинлашади. Дарҳақиқат,  $C_A$  ўсиши билан  $A \rightarrow R$  реакция тезлиги  $A \rightarrow S$  никидан ортиклиги кўринади, бунда дастлабки модданинг умумий айланиш тезлигида биринчи босқич улуши кўпайиши маълум бўлади.

Агар  $n_1 < n_2$  бўлса, унда  $S'_R = k_1 / (k_1 + k_2 C_A^{n_2 - n_1})$  ва  $C_A$  кўпайиши билан камаядики, бунда  $R$  нинг ҳосил бўлиши тезлиги тезроқ ўсади.

$S'_R(C_A)$  боғланишлар кўриниши 2.20-расмда кўрсатилган.

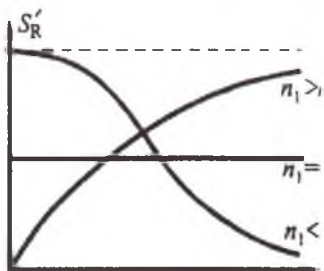
Олинган маълумотлардан параллел айланишлар ўтказиш жараёнининг қулай режими ҳақида қуйидагича хулосалар чиқариш мумкин.

Агар олинадиган мақсадли маҳсулотнинг ҳосил бўлиш тартиби бошқа маҳсулотлар ҳосил бўлишиникидан юқори бўлса, жараёнини дастлабки маҳсулотлар концентрациялар юқори бўлгани маъкулки, бунда жараёнининг селективлиги ҳам, инсенсивлиги ҳам юқори бўлади.

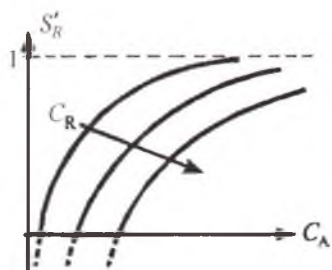
Хусусий реакциялар тартиби тенг бўлган ҳолда концентрация селективликка таъсир кўрсатмайди ва концентрацияни ошириш реакция тезлигини ошириш учун мақсадли бўлади.

Агар қўшимча маҳсулот ҳосил бўлиш реакцияси тартиби юқори бўлса, унда селективлик концентрациянинг камайиши билан ортади. Лекин айланиш тезлиги камайиб боради.

Агар  $R$  нинг ҳосил бўлиш тезлиги  $S$  нинг ҳосил бўлиш тезлигидан юқори бўлса, унда температуранинг оширилиши дифференциал селективликнинг ортишига олиб келади. Бу  $E_1 > E_2$  ҳолатдагина амалга оша олади. Активлаш энергиясининг тескари нисбатида



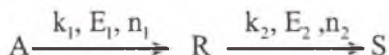
2.20-расм. Дифференциал селективлик  $S'_R$ -нинг айланишнинг параллел схемаси ( $n$ -реакция тартиби) учун концентрация  $C_A$  га боғликлиги.



2.21-расм. Дифференциал селективлик  $S'_R$ нинг  $C_A$  ва  $C_R$  концентрацияларнинг кетма-кет айланиш схемасига боғликлиги. Стрелка билан  $C_R$ нинг ортиши – оралик маҳсулот R концентрацияси кўрсатилган.

( $E_1 < E_2$ ) селективликни оширишга, интенсивликнинг пасайишига қарамдан, температурани камаййтиришгина ёрдам қилади.

**Айланишнинг кетма-кет схемаси:**



Биринчи ва иккинчи босқич тезликлари қуйидагича ифодаланади:  $r_1 = k_1 C_A$  ва  $r_2 = k_2 C_R$ . Мақсадли маҳсулот R нинг ҳосил бўлиш тезлиги эса қуйидагичадир:

$$R : w_R = k_1 C_A - k_2 C_R$$

Дастлабки модданинг умумий айланиш тезлиги  $w_A = k_1 C_A$ . Дифференциал селективлик икки реагент

$$S'_R = \frac{k_1 C_A - k_2 C_R}{k_1 C_A} = 1 - \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A} \quad (2.48)$$

концентрациясига боғлиқдир.  $C_R$  нинг турли  $S'_R(C_A)$  эгри чизикларнинг қатор гуруҳини тузиш мумкин (2.21-расм).

$C_R$  билан  $C_A$  нинг маълум нисбатида, жумладан,  $C_R/C_A = k_1/k_2$  бўлганда, R нинг A дан ҳосил бўлиш ва R нинг S га айланиш тезлиги тенг бўлади, бунда  $S'_R = 0$  дир. Агар  $C_R/C_A$  нисбати бу қийматдан катта бўлса, дифференциал селективлик манфий бўлиб қолади. Интеграл селективликнинг доимо мусбат катталиқ бўлишини эслатиб ўтамыз.

$C_A$  ва  $C_R$ ларнинг берилган концентрацияларида температура таъсирини кузатамиз. Агар  $E_1 > E_2$  бўлса, унда температуранинг кўтарилиши  $k_1$  учун  $k_2$  га караганда кўпроқ ортади ва (2.48) тенгламадан дифференциал селективлик  $S'_R$  нинг ортиши кўринади. Хусусий реакциялар активланиш энергиялари тескари нисбатида ( $E_1 < E_2$ ) температура селективликка салбий таъсир этади.

## 2.4. ГЕТЕРОГЕН КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

### 2.4.1. Асосий тушунчалар

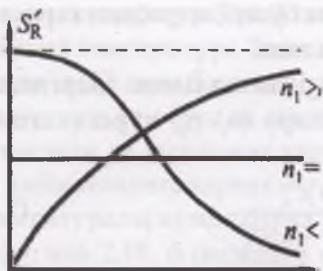
Гетероген кимёвий жараёнда дастлабки моддалар ва маҳсулотлар турли фазаларда бўлади. Гетероген системада реакциялар бир мунча мураккаб ўтади, механизм ҳам кўп боскичларга бўлинади.

*Гетероген система деб икки ва undan ortiq қисмлардан ташкил топиб, бир-бирларидан физик ёки кимёвий хоссалари билан фарқланувчи ҳамда бир-биридан юза қисми билан ажралган системага айтилади.* Гетероген системанинг алоҳида бўлган бир хил қисмлари унинг фазалари деб аталади. Масалан, муз (қор), сув ва унинг устида бўлган буғи уч фазали гетероген системани ташкил этади, булар қаттиқ (муз), суюқ (сув) ва газ ҳолатида (сув буғи)дирлар. Бирор кислота ва унга тушириб қўйилган металл сим икки фазали системадир. Гетероген системада диффузия ходисаси катта роль ўйнайдиган омиллардан биридир. Диффузияни сунъий кучайтириб, реакция тезлигини анча ошириш мумкин. Бунга аралаштириш, силкитиш, поршенлар ҳаракати ёки бошқа механик йўллар билан эришиш мумкин. Градиентсиз реакторлардан фойдаланиш гетероген системаларни тадқиқ қилиш ва ўрганишда қўл килади.

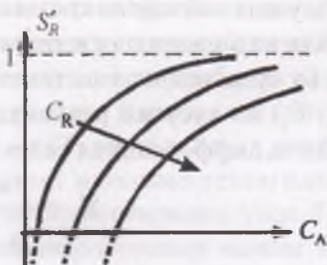
Жараёнда иштирок этаётган фазалар хили (кўриниши) бўйича гетероген реакциялар қуйидагиларга бўлинади:

а) «Газ-қаттиқ (жараёнларнинг бу хилига газлар адсорбцияси ва десорбцияси, курук ҳайдалиш, рудаларни қуйдириш, металлларни оксидлаш, қаттиқ оксидларни қайтариш, қаттиқ ёқилғиларнинг ёниши киради).

б) «суюклик-қаттиқ» (суюкликдаги адсорбция, десорбция, эритиш, ишқорлаш, кристаллаш);



2.20-расм. Дифференциал селективлик  $S'_R$ -нинг айланишнинг параллел схемаси ( $n$ -реакция тартиби) учун концентрация  $C_A$  га боғлиқлиги.



2.21-расм. Дифференциал селективлик  $S'_R$ -нинг  $C_A$  ва  $C_R$  концентрацияларнинг кетма-кет айланиш схемасига боғлиқлиги. Стрелка билан  $C_R$ -нинг ортиши – оралик маҳсулот R концентрацияси кўрсатилган.

( $E_1 < E_2$ ) селективликни оширишга, интенсивликнинг пасайишига қарамасдан, температуранинг камайишига ёрдам қилади.

#### Айланишнинг кетма-кет схемаси:



Биринчи ва иккинчи босқич тезликлари куйидагича ифодаланади:  $r_1 = k_1 C_A$  ва  $r_2 = k_2 C_R$ . Мақсадли маҳсулот R нинг ҳосил бўлиш тезлиги эса куйидагичадир:

$$R: w_R = k_1 C_A - k_2 C_R$$

Дастлабки модданинг умумий айланиш тезлиги  $w_A = k_1 C_A$ . Дифференциал селективлик икки реагент

$$S'_R = \frac{k_1 C_A - k_2 C_R}{k_1 C_A} = 1 - \frac{k_2 C_R}{k_1 C_A} \quad (2.48)$$

концентрациясига боғлиқдир.  $C_R$  нинг турли  $S'_R(C_A)$  эгри чизикларнинг қатор гуруҳини тузиш мумкин (2.21-расм).

$C_R$  билан  $C_A$  нинг маълум нисбатида, жумладан,  $C_R/C_A = k_1/k_2$  бўлганда, R нинг A дан ҳосил бўлиш ва R нинг S га айланиш тезлиги тенг бўлади, бунда  $S'_R = 0$  дир. Агар  $C_R/C_A$  нисбати бу қийматдан катта бўлса, дифференциал селективлик манфий бўлиб қолади. Интеграл селективликнинг доимо мусбат катталик бўлишини эслатиб ўтаемиз.



$C_A$  ва  $C_R$ ларнинг берилган концентрацияларида температура таъсирини кузатамиз. Агар  $E_1 > E_2$  бўлса, унда температуранинг кўтарилиши  $k_1$  учун  $k_2$  га қараганда кўпроқ ортади ва (2.48) тенгламадан дифференциал селективлик  $S'_R$  нинг ортиши кўринади. Хусусий реакциялар активланиш энергиялари тескари нисбатида ( $E_1 < E_2$ ) температура селективликка салбий таъсир этади.

## 2.4. ГЕТЕРОГЕН КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР

### 2.4.1. Асосий тушунчалар

Гетероген кимёвий жараёнда дастлабки моддалар ва маҳсулотлар турли фазаларда бўлади. Гетероген системада реакциялар бир мунча мураккаб ўтади, механизм ҳам кўп босқичларга бўлинади.

*Гетероген система деб икки ва ундан ортиқ қисмлардан ташкил топиб, бир-бирларидан физик ёки кимёвий хоссалари билан фарқланувчи ҳамда бир-биридан юза қисми билан ажралган системага айтилади.* Гетероген системанинг алоҳида бўлган бир хил қисмлари унинг фазалари деб аталади. Масалан, муз (қор), сув ва унинг устида бўлган буғи уч фазали гетероген системани ташкил этади, булар қаттиқ (муз), суюқ (сув) ва газ ҳолатида (сув буғи) дирлар. Бирор кислота ва унга тушириб қўйилган металл сим икки фазали системадир. Гетероген системада диффузия ҳодисаси катта роль ўйнайдиган омиллардан биридир. Диффузияни сунъий кучайтириб, реакция тезлигини анча ошириш мумкин. Бунга аралаштириш, силкитиш, поршенлар ҳаракати ёки бошқа механик йўллар билан эришиш мумкин. Градиентсиз реакторлардан фойдаланиш гетероген системаларни тадқиқ қилиш ва ўрганишда кўл килади.

Жараёнда иштирок этаётган фазалар хили (кўриниши) бўйича гетероген реакциялар куйидагиларга бўлинади:

а) «Газ-қаттиқ (жараёнларнинг бу хилига газлар адсорбцияси ва десорбцияси, курук ҳайдалиш, рудаларни куйдириш, металлларни оксидлаш, қаттиқ оксидларни қайтариш, қаттиқ ёқилгиларнинг ёниши киради).

б) «суюқлик-қаттиқ» (суюқликдаги адсорбция, десорбция, эришиш, ишқорлаш, кристаллаш);

в) «газ-суюклик» (суюкликдаги адсорбция, десорбция, эритувчини буглатиб эритмаларни концентрлаш, конденсатлаш, суюк аралашмаларни ҳайдаш – дистиллаш, ректификациялаш);

г) аралашмовчи «суюклик-суюклик» системаси (экстракция, эмульгирлаш);

д) «қаттиқ-қаттиқ (пишириш, цемент ва керамик буюмлар олиш, юқори температурали ноорганик материаллар синтези);

е) кўп фазали «газ-суюклик-қаттиқ», «аралашмовчи суюкликлар-газ ёки қаттиқ» системалар. Гетероген *жараёни ўтказиш шароити* ҳар бир фаза ҳолати ва уларнинг бир-бири билан таъсирлашиш параметрлари хизматдир.

Фазалар контактида реактантлар реакция ўтиш жойига етказилади – бу реакция шароитлари бўлиб, ҳосил қилинган ташқи шароитдан фарқланади; температура ҳам фарқланиши мумкин.

Модда ва иссиқлик кўчиш фазаларн ўзаро таъсирлашуви шароитларига боғлиқ бўлади (оқимлар тезлиги ва йўналиши, юзалар конфигурацияси) ва транспорт қилиш хоссалари (диффузия, иссиқлик ўтказиш ва ёпишқоқлик коэффициентлари)га боғлиқ бўлади. Реакция шароити бир вақтнинг ўзида реакция ўтиши ва кўчиш ҳодисасининг рўй беришида концентрация ва температуранинг қайта тарқалиши натижасидир, яъни гетероген жараён кўп босқичли эканлигидан дарак беради. Реакция шароитларини жараён шароитлари билан ифодалаш мумкин бўлиб, булар берилган ёки маълум – уларни ўлчаш ёки «кузатиш» мумкин.

Гетероген кимёвий жараёнда айланиш тезлигининг жараён шароити орқали ифодаланиши *айланишининг кузатиладиган тезлиги*  $W_k$  ҳисобланади.

Агар айланиш тезлиги реакция ўтиш жойида концентрация  $C'$  ва температура  $T'$  га боғлиқ, яъни  $w(C', T')$  бўлса, унда  $C'$  ва  $T'$  жараён шароитлари билан аниқланади, шу боис кузатиладиган айланиш тезлиги унинг параметрлари (масалан, оқим тезлиги)га боғлиқ бўлади:

$$w(C', T') = W_k(C, T, u, \dots)$$

Гетероген кимёвий жараённинг асосий вазифаси  $W_k(C, T, u, \dots)$  боғлиқлигини аниқлаш ҳисобланади.

Кўп босқичли жараёнда уни ташкил этувчилар турлича бўлиши мумкин. Бунда *чегараловчи босқич* тушунчаси киритилади, жараён



режими мазкур босқич аниқланувчи жараён тезлигини чеклаб туради. Бу тушунчалардан кейинрок конкрет системаларда фойдаланамиз.

Қаттиқ жисмлардаги кўчиш механизми суюқлик ва газлардагидан тубдан фарқланади. Газ ва суюқлик – оқувчан фазалар бўлиб, ҳаракатчан юзага эга бўлади. Буларда кўчиришнинг конвектив таркиби ҳиссаси катта бўлиб, қаттиқ жисмнинг ҳаракатсиз ички структураси ва ташқи конфигурация бу ҳолат йўқлиги билан фарқланади. Мазкур ҳолат кимёвий жараён учун юқорида кўрсатилган гетероген системаларнинг кўп кўринишлари моделларини 2 хилда тузишга имкон беради:

«Газ (суюқлик)-қаттиқ» – оқувчан ва қаттиқ фазанинг ўзаро таъсирлашуви;

«газ (суюқлик)-суюқлик» – оқувчан фазаларнинг бир-бири билан таъсирлашуви.

#### 2.4.2. «Газ (суюқлик)-қаттиқ» системаси

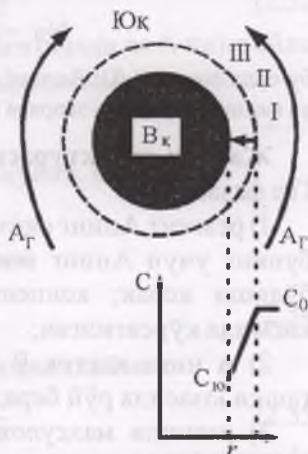
Жараённи ўрганишда қаттиқ реагентни шар кўринишдаги заррача сифатида деб оламиз. Заррача юзаси бир хил – компонентлар кўчиши бутун юза бўйлаб оқимда барабар тарқалади. Қаттиқ заррача ўлчами жараёнда ёниш, эриш, кўчиш ҳисобига ўзгариши мумкин ёки ўзгармаслиги ҳам мумкин. Заррача ва оқим температураси бир хил деб оламиз.

**Қаттиқ заррача ўлчами ўзгарувчи жараён.** Ушбу жараёнда газ билан қаттиқ заррачанинг ўзаро таъсирлашув маҳсулоти газ ҳолатида бўлади:



«г» ва «к» индекслар компонент қандай фазадалигини кўрсатади.

Бундай жараёнларга мисол қилиб кўмирнинг ёниши ( $C + O_2 = CO_2$ ), кўмир газификацияси ( $C + H_2O = CO + H_2$ ) ва эришни кўрсатиш мумкин. Бу жараёнларда қаттиқ материалнинг ўлчами деакция ўтиши билан камаяди, баъзан йўқолиб кетишгача боради.



2.22-расм. Гетероген жараён реакцияси  $A_r + B_k = R_r$  схемаси («сикилувчи система»).

**Жараён схемаси** 2.22-расмда келтирилган. Заррача атрофидан ўтувчи оким идиш ҳажмида яхши аралашган бўлиб, А компонент концентрацияси окимда («оким ядроси» деган ибора ҳам маълум) доимий ва  $C_0$  га тенгдир. Заррача юзасида чегара қатлам вужудга келади (рангда пунктир чизиқ билан чегараланган). У орқали А компонент заррача юзасига киради, шу ерда реакция амалга ошади. Газсимон маҳсулотлар тескари йўл билан оким орқали чиқариб юборилади.

Модда чегара қават қалинлиги  $\delta$  да диффузия орқали кўчади (диффузия коэффициенти  $D$ ) ва масса алмашинувини коэффицент  $\beta = D/\delta$  билан характерлайдилар.

Кўчиш механизми бунданда мураккаб бўлиши мумкин, лекин ихтиёрий ҳолатда уни масса алмашинуви коэффициенти  $\beta$  билан характерлайдилар.  $\beta$  ни ҳисоблаш учун критериал тенгнамалардан фойдаланилади. Масалан, диаметри  $d$  бўлган якка силлиқ заррача куйидагича ифодаланади:

$$Nu = 2 + 0,93 Re^{0,5} Sc^{1/3}, \quad (2,50 \text{ а})$$

бу ерда Нуссельт критерийси  $Nu = \beta d/D$ ; Рейнольдс критерийси  $Re = ud/\nu$ ; Шмидт критерийси  $Sc = \nu/D$ ;  $u$  – оким тезлиги;  $\nu$  – газ ёпишқоклиги.

Кўзгалмас донатор қатламда ёнлаб ҳаракатланувчи заррача учун оламит:

$$Nu_s = 0,395 Re_s^{0,64} Sc_s^{1/3}; Re_s > 30, \quad (2,50 \text{ б})$$

бу ерда  $Nu = \beta d_s/D$ ;  $Re_s = ud_s/\nu$ ;  $d_s = 4\epsilon/a$  – заррачанинг эквивалент диаметри;  $\epsilon$  – қатлам фарқи;  $a$  – заррача солиштирма юзаси.

**Жараён структураси** куйидаги босқичлар билан белгиланади. Газ фазасида:

1) реагент Анинг окимдан юзага кўчиши (2.2. 2-расмда I босқич); бунинг учун Анинг концентрацияси юза  $C_0$  да окимдагидан кам бўлиши керак; концентрациянинг бўлиниши расмнинг остки қисмида кўрсатилган;

2) А нинг қаттиқ В билан реакцияси (II босқич) заррачанинг ташки юзасида рўй беради;

3) реакция маҳсулоти R нинг кўчиши юзадан окимга қараб боради; бунда реакция тезлиги  $K$ нинг концентрациясига боғлиқ бўлмайди ва юзадан чиқарилиши жараёнга таъсир кўрсатмайди, деб қабул қиламиз.

Қаттиқ фазада:

1) В нинг газ ҳолдаги А компоненти билан юзадаги реакцияси (II боским);

2) заррача ўлчамининг ўзгариши (камайиши) (III боскич): дастлаб заррача радиуси  $R_0$  га тенг эди.

Қаттиқ реагент билан заррача ўлчами ўзгарувчи бундай гетероген схема «сиқилувчи сфера» дейилади.

Математик модель газ ҳолдаги реагентлар А ва қаттиқ ҳолдаги В ларнинг хусусиятларини ифодалашни ўз ичига олади. Конденсирланган фазадаги модданинг ҳажмий миқдори – қаттиқ заррачада газдагига қараганда юзлаб барабар каттадир. Заррача ўлчами камайиши чегара қатламда концентрациянинг таралишига қараганда анча секин боради, шу боис газ фазадаги жараёнларни вақтнинг ҳар бир momentiда стационардир, деб ҳисоблаш мумкин. Стационар режимда А модданинг юзага оқими ( $W_I - I$  боскич) ва А нинг ундаги реакцияси тезлиги ( $W_{II} - II$  боскич) тенгдир:

$$W_I = W_{II} \quad (2.51)$$

А компонентнинг оқими заррача юзаси  $S_r$  га пропорционал ва А нинг оқим  $C_0$  даги концентрациялари ҳамда  $C_{ю}$  юзасидаги фарқ

$$W_I = -\beta S_r (C_0 - C_{ю}) \quad (2.52)$$

Юзада биринчи тартибли реакция амалга ошади ва А нинг айланиш тезлиги заррачанинг ташқи юзасига пропорционалдир:

$$W_{II} = -k C_{ю} S_r \quad (2.53)$$

(2.52) билан (2.53) ни (2.50) тенгламага қўйиб, оламиз

$$\beta(C_0 - C_{ю}) = k C_{ю}$$

Энди А нинг юзадаги концентрациясини:

$$C_{ю} = \frac{C_0}{1+k/\beta} \quad (2.54)$$

ва айланишнинг кузатиладиган тезлигини аниқлаймиз:

$$W_k = -k C_{ю} = -\frac{k C_0}{1+k/\beta} \quad (2.55)$$

к ва  $\beta$  параметрлари комбинациясини  $K_k$  – *тезликнинг кузатиладиган константаси* (кузатиладиган реакция тезлигига ўхшаш) билан белгилаймиз:

$$K_k = \frac{k}{1+k/\beta} \quad (2.56)$$

ва кейин

$$W_k = K_k C_0. \quad (2.57)$$

Бундан,  $W_k$  биринчи тартибли реакция сифатида берилганлиги кўринади, лекин  $K_k$  физик мазмунга эга эмаски, жараён шароитларининг боғлиқ парааметрдир. Агар реакция биринчи тартибли бўлмаса, унда  $w_k$  учун ёзилувчи ифода кинетик тенглама кўринишидан фарқланишини сезиш мумкин. Масалан, агар юзадаги реакция иккинчи тартибда ( $w_A = -kC^2$ ) бораётган бўлса, унда  $W_k = -\beta^2/4k [\sqrt{(1 + 4_k C_0/\beta)} - 1]^2 W_k(C_0)$  учун ифодалаш шакли кинетик тенгламадан анча фарқланади.

Қаттиқ компонент N микдорининг вақт бирлигидаги ўзгариши унинг ташқи юзасидаги айланиш тезлигига тенг бўлади:

$$dN/dt = w_B S_r. \quad (2.58)$$

Моддаларнинг айланиш тезликлари стехиометрик нисбат  $w_B/v_B = w_A/v_B$  билан боғланган. Қаралаётган реакцияда (2.49)  $v_B = v_A$  ва  $w_B = w_A = -kC_{ю} = -K_k C_0$ .

Қаттиқ компонент ҳажм бирлигидаги микдорини  $n_0$  билан белгилаймиз (агар заррача – молекуляр массаси  $M$  га тенг ғовакмас модда бўлса ва зичлиги  $\rho$  деб олинса ва зичлиги бўлса, унда  $n_0 = \rho/M$ ).  $dt$  вақт ичида реагент В дан  $dN = n_0 S_r dr$  ча бўлган  $dr$  қалинликдаги юзқа юза қават таъсирлашади. (2.58) тенгламани қуйидаги кўринишга ўтказамиз

$$n_0 S_r (dr/dt) = -K_k C_0 S_r$$

ва кейин

$$dr/dt = -K_k (C_0/n_0). \quad (2.59)$$

(2.59) тенгламани бошланғич момент  $l=0$  дан то  $t$  моментгача интеграллаб (заррача ўлчами – дастлабки, яъни  $R_0$ ) оламиз (бунда заррача ўлчами  $r$  гача кичиклашади).

$$R_0 - r = K_k (C_0/n_0)t. \quad (2.60)$$

Маълум вақт  $t_k$  дан кейин қаттиқ заррача тўла таъсирлашади («к» индекси реакция тамомланганлигини билдиради), яъни бу моментда  $r=0$ . Тўла айланиш вақтини (2.60) тенгламадан топамиз:



$$t_k = R_0 n_0 / (K_k C_0) \quad (2.61)$$

Ўлчамсиз радиус  $\rho = r/R_0$  ни киритиб ва (2.61) тенгламадан фойдаланиб, (2.60) тенгламани ўлчамсиз кўринишга ўтказамиз:

$$\rho = 1 - t/t_k. \quad (2.62)$$

Амалиётда айланишни қаттиқ:  $x_B = (N_0 - N)/N_0$  нинг айланиш даражаси билан ифодалаш қулайдир. Дастлабки заррачадаги қаттиқ микдори  $N_0 = \left(\frac{4}{3}\right)\pi R_0^3 n_0$  ва шу моментда  $N = \left(\frac{4}{3}\right)\pi R_3^3 n_0$  га тенг, бундан чиқади:

$$x_B = 1 - \rho^3 \text{ ва } \rho = (1 - x_B)^{1/3}. \quad (2.63)$$

Айланиш даражасининг вақт билан ўзгариши:

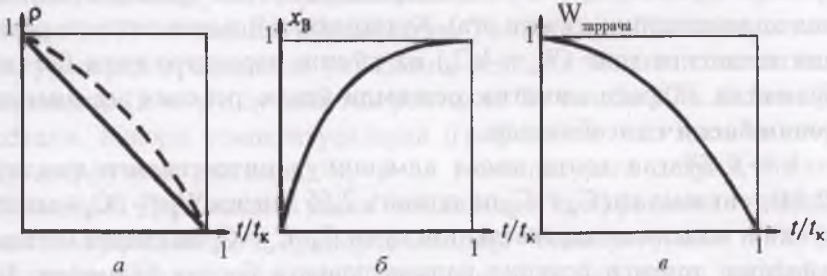
$$x_B = 1 - (1 - t/t_k)^{1/3}. \quad (2.64)$$

Вақт ўтиши билан кузатиладиган айланиш тезлигининг битта заррача учун қийматини топиш мумкин бўлади:

$$W_{\text{заррача}} = W_k S_r = W_k \cdot 4\pi r^2 = -4\pi R_0^2 K_k C_0 (1 - t/t_k)^2 \quad (2.65)$$

### «Сиқилувчи сфера» гетероген жараён таҳлили

2.23-расмда масса алмашинув коэффициенти  $\beta$  кўрсатилган жараёнда ўзгармас деб олинди,  $\rho(t/t_k)$ ,  $x_B(t/t_k)$ ,  $W_{\text{заррача}}(t/t_k)$  ларнинг боғлиқлиги кўрсатилган. Бу ҳолда  $W_k$  (юза бирлигига ҳисобланганда) доимий ва ва ҳар бир вақт оралиғи (интервали) да битта қават бир хил қалинликда «сиқилади» –  $\rho$  вақт ўтиши билан чизиқли равишда ўзгаради (2.23, а-расмга қаранг).



2.23-расм. Вақт  $t$ ; нинг радиуссиз заррача  $\rho$  (а), қаттиқ реагент  $x_B$  (б) ва заррача  $W_{\text{заррача}}$  (в) айланиш тезлигининг гетероген «сиқилувчи сфера» жараёни учун ўзгариши.  $t_k$  – тўла айланиш вақти. Пунктир чизиқ –  $\rho$  нинг заррача ўлчамининг ўзгаришини масса алмашинув коэффициенти  $\beta$  таъсиридаги ўзгариши.

Лекин реакцияга киришган каттик реагент микдори заррача юзасига пропорционал бўлиб, бу ўз навбатида  $\rho^2$  га пропорционал ва вақт ўтиши билан камайди. Шу боис  $x_B$  бошида тез, кейин секинроқ ортиб боради (2.23, б-расм). Заррача  $W_{k(\text{заррача})}$  нинг таъсирлашув тезлиги вақт ўтиши билан заррача камайиши – таъсирлашув юзаси камайишига боғлиқ ҳолда пасаяди.

Масса алмашинув коэффицентини  $\beta$  умумий ҳолда окимдаги заррача ўлчамига боғлиқ бўладики, (2.50) формуладан ўлчам катталашуви билан ортиши кўринади. Бу эффектни ҳисобга олиш кўриладиётган боғланишларнинг таъсири борлигидан дарак беради.  $\beta$  ўзгариши максимал таъсирининг заррача ўлчамига боғлиқлиги 2.23, а-расмда пунктир чизиқ билан кўрсатилган.

### **Лимитловчи босқич ва жараён режимлари**

Алоҳида жараённинг тезлиги (реакциялар, масса кўчиши, унинг параметрлари – катталиги, тезлик константалари, масса алмашинуви) ва ҳаракат кучи (реакция учун олинган концентрациялар, масса кўчиши концентрациялар фарқи билан аниқланади. Жараён параметри – унинг интенсивлиги характеристикасидир. Кўп босқичли жараёнда унинг босқичлари (босқичлари) нисбатлари ҳар хил бўлиши мумкин. Кўриладиётган жараёнда кузатилган реакция тезлиги  $W_k$  ва тегишлича  $K_k$  реакция тезлиги константаси  $k$  ва масса алмашинув коэффицентини  $\beta$  га боғлиқ бўлади.

Агар  $k \ll \beta$  бўлса, яъни реакция паст интенсивли бўлса, унда (2.54) тенгламадан  $C_{ю} \approx C_0$  ни оламиз, реакция шу шароитда бўлиши мумкин бўлган концентрацияда ўтади (реакция максимал ҳаракатланиш кучига эга). Кузатилган айланиш тезлиги реакция тезлигига тенг ( $W_k = -kC_0$ ) ва кўчиш параметрларига боғлиқ бўлмайди. Жараён **кинетик режимда** ўтади, реакция эса **лимитловчи босқич** ҳисобланади.

$k \gg \beta$  бўлган ҳолда масса алмашинув интенсивлиги камдир; (2.54) тенгламадан  $C_{ю} \ll C_0$  ни оламиз, 2,55 дан эса  $W_k = -\beta C_0$  – масса кўчиши максимал ҳаракатланиш кучи  $C_0 - C_{ю} \approx C_0$  да амалга ошади. Айланиш тезлиги реакция параметрларига боғлиқ бўлмайди. Бу **диффузион режим** бўлиб, масса кўчиши **лимитловчи босқичдир**. Лимитловчи босқич – кўп босқичли жараён бўлиб, максимал ҳаракатлантирувчи куч билан характерланади.

Режим (ёки жараённинг ўтиши соҳаси) ва лимитловчи босқич— кўп босқичли жараёнга тегишли тушунча ва характеристикалардир.

Лимитловчи босқичнинг иккинчи белгисини барча босқичлар ҳаракатланиш кучи концентрация бўйича бир тартибли бўлгандагина қўллаш мумкин. Қаралаётган жараёнда реакциянинг ҳаракатлантириш кучи ва масса кўчиши — концентрация бўйича биринчи тартиблидир. Масса кўчиши коэффициенти  $\rho$  ва иккинчи тартибли реакция тезлиги константаси  $k$  ларни турлича катталиқда  $k$  учун солиштириб бўлмайди. Адабиётда лимитловчи босқич энг секин босқич дейилади. Лекин стационар режимда барча босқичлар тезлиги баравар бўлиб, улар тенглиги (2.51) тенгламадан  $W = W$  кўринадики, доимо сақланади.

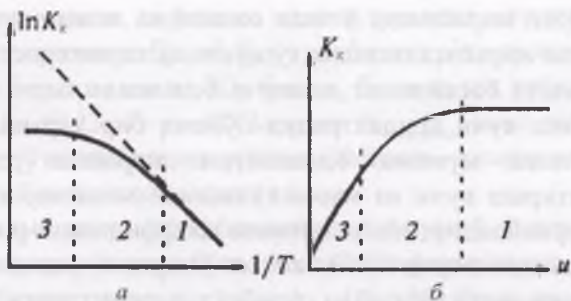
Лимитловчи босқични аниқловчи (ҳал қилувчи) босқич деб ҳам атайдилар. Бу иборани қуйидагича тушунмоқ керак. Агар жараённинг бирор босқичи лимитловчи бўлса, унда тегишли режим ва шу босқич қонуниятлари мос келади. Масалан, кинетик режимда айланишнинг кузатиладиган тезлиги реакция тезлиги сингари температурага боғлиқ бўлади. Диффузион режимда  $w_k$  билан масса кўчиши мос келади. Лимитловчи босқич билан аниқловчи босқич доим ҳам бир-бирига мос келмаслигини эслатиб ўтамыз.

**Жараён шароитларининг айланиш тезлигига таъсирини кўриб чиқамиз.**

**1. Температура таъсири.** У  $K_k$  (2.56 тенгламага қаранг)нинг катталигига таъсир кўрсатади. Бу боғланишни Аррениус координаталарида « $\ln K_k - 1/T$ » ифодалаймиз (2.24,  $a$ -расм). Расмда пунктир билан  $k(T)$  боғланиши кўрсатилган. Унча юқори бўлмаган температураларда (графикнинг ўнг қисми) реакция тезлиги константаси кичикдир ( $k \ll \beta$ ), бу кинетик режимда. Бу соҳада  $K_k$   $k$  билан мос келади. Юқори температураларда (графикнинг чап қисми)  $k \gg \beta$ , бу диффузион режимда;  $K_k = \beta$  ва температурага деярли боғлиқ бўлмайди. Дарҳақиқат, масса алмашинув коэффициенти диффузия коэффициентига пропорционалдир. Температуранинг  $10^\circ\text{C}$  га кўтариш реакция тезлигини тахминан икки бараварга, диффузия тезлигини эса бир неча фоизга оширади.

**2. Оқим тезлиги таъсири.**  $\beta$  бунга боғлиқдир (2.50 тенглама). Оқим  $u$  нинг кичик тезлигида  $\beta \ll k$  деб тахмин қилиш мумкин,





2.24-расм. «Сиқилувчи сфера» гетероген жараёнида айланиш тезлиги кузатилган константа  $K_k$  нинг температура  $T$  (а) ва зарра (б)ни айланиб ўтиш тезлигига боғлиқлиги. Жараён режими: 1 – кинетик; 2 – ўтувчи; 3 – диффузион.

бунда режим диффузия ҳолатида бўлади;  $K_k = \beta$  бўлганда оқим тезлиги билан ортади. Оқим тез бўлганда  $\beta$  ортуви билан жараён режими кинетик ҳолатга ўтади ва  $u$  га боғлиқ бўлмай қолади.  $K_k(u)$  нинг ўзгариши 2.24, б-расмда кўрсатилган.

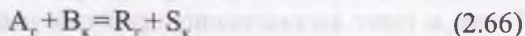
**Жараён интенсификацияси.** Бу тўла айланиш вақти  $t_k$  нинг камайиши орқали аниқланади. (2.61) ва (2.56) тенгламалардан аниқлаймиз:

$$t_k = \left( \frac{1}{k} + \frac{1}{\beta} \right) \frac{R_0 n_0}{C_0}.$$

Мазкур тенглама кўринишидан  $t_e$  нинг камайиш йўллари ва жараёни интенсификациялаш аниқланади: газдаги компонент концентрацияси  $C_0$  нинг ошуви; заррачаларнинг майдаланиши –  $R_0$  нинг камайиши; температура кўтариш орқали тезлик константаси  $k$  ни ошириш (кинетик ҳолатда); масса алмашинув коэффициенти  $\beta$  ни оқими турбилизациялаш орқали ошириш, бунда заррача айланиб ўтиш тезлигини оширишга ҳам эришилади (айниқса: диффузион шароитда).

$T$  билан  $u$  нинг жараёни интенсификациялашдаги таъсири бир-мунча чегаралангандир.

**Қаттиқ заррача ўлчами ўзгармайдиган жараён.** Газнинг қаттиқ заррача билан таъсирлашув маҳсулотларидан бири – қаттиқ модда:



Реакция хом аиё ва масулотнинг каттик фазаси ажратилш чегарасида ўтади ва топокимёвий реакция дейилади. Жараён саноатда кенг тарқалган бўлиб, буларга мисол қилиб табиий газни оксид-рух ютгичида олтингугуртдан тозалаш ( $H_2S + ZnO = H_2O + ZnS$ ), олтингугуртли рудаларни ёндириш ( $4 FeS_2 + 11O_2 = 8SO_2 + 2Fe_2O_3$ ), металллар оксидларини қайтариш, металлларни оксидлаш ва бошқаларни кўрсатиш мумкин. Буларга каттик кўп компонентли бирикмалар таркибидаги бир қисми моддаларнинг ёниши (кулли кўмирлар); ишқорлаш (бир қисм компонентларнинг эриши), хемосорбциянинг баъзи жараёнлари, катализаторларнинг қайтарилиши ва захарланиши (буларда жараён каттик заррачанинг ички қисмига фронталь йўналади).

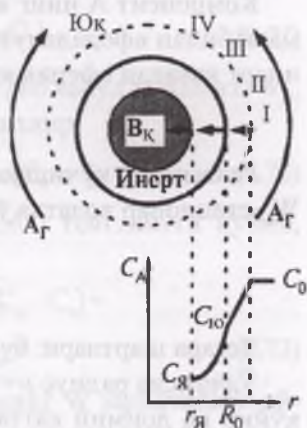
Жараён схемаси 2.25-расмда келтирилган. Ко радиусли заррача реагент концентрацияси  $C_0$  бўлган газ оқими ичидадир. Заррачани чегара қавати ўраб туради, бу орқали заррача юзаси ва оқим ядроси масса алмашинуви амалга ошади. Реакция юзада бошланади ва частица ичига фронтал равишда тарқалади. Маълум вақтдан кейин заррача  $r_n$  радиусли ядродан иборат бўлади, бунда таъсирлашмаган модда В ва махсулотнинг ташқи қавати ёки реакцияга кирмовчи, яъни ўтаётган реакцияга бепарқ бўлган компонентлар учрайди. Реакция каттик фазалар чегараси – ядро юзасида ўтади, натижада ядро камаяди, лекин заррача ўлчами (Ко сакланади. Жараённинг бундай схемаси «сикилувчи ядро» дейилади.

Жараён куйидаги босқичлар (босқичлар)ни ўз ичига олади. Газ холдаги компонентлар учун:

А компонентларни оқимдан заррача юзасига кўчириш (2.25-расмдаги I босқич);

инерт каватидан реагентни ядро юзасига кўчириш (II босқич);

одатда, инерт ғовак материал ва компонент кўчиши ғоваклар орқали диффузия билан амалга ошади;



2.25-расм. Реакцияси гетероген бўлган  $A_1 + B_x = R_1 + S_x$  («сикилувчи ядро») жараён схемаси.

$A_r$  нинг  $B_r$  билан ядро юзасидаги реакция орқали (III босқич).

Газ ҳолдаги маҳсулотлар тескари тартибда чиқариб юборилади. Булар айланиш тезлигига таъсир этмайдилар деб ҳисоблаймиз. Каттик компонентлар учун:

каттик B нинг  $A_r$  билан ядро юзасидаги реакцияси (III босқич);  
ядро ўлчами ўзгариши (IV босқич).

A нинг концентрацияси тарқалиши 2.25-расмнинг остки қисмида кўрсатилган.

**Математик модель.** Ушбу жараён юқорида кўриб ўтилганга ўхшайди.  $C_{ю}$  ва  $C_R$  лар билан Анинг заррача ташқи юзаси ва ядро олдидаги концентрацияларини белгилаймиз. D – Анинг инерт қаватидаги диффузия коэффициенти:  $W_1, W_2, W_3$  – A компонент оқимлари ўқи A нинг жараённинг тегишлича босқичларидаги айланиш тезлиги. Стационар режимда

$$W_1 = W_2 = W_3 \quad (2.67)$$

A компонентнинг Яо радиусли заррача юзасига оқими топилади

$$W_1 = -4\pi R_0^2 \beta (C_0 - C_{ю}) \quad (2.68)$$

Компонент A нинг инерт қатлами орқали кўчиши  $4\pi r^2$  тенгламаси билан ифодаланувчи диффузион жараёндир. A нинг радиусли инерт қаватли сферик юзаси орқали оқими ( $r_2 < r < R_0$ ):

$$W_{II} = -4\pi r^2 D (dC/dr). \quad (2.68 a)$$

Реагентлар кўчиш юзаси  $4\pi r^2$  га боғлиқ, лекин оқим катталиги  $W_{II}$  стационар ҳолатда ўзгармасдир, шу боис ўқи

$$\frac{d}{dC} \left( -D \cdot 4\pi r^2 \frac{dC}{dr} \right) = 0$$

Чегара шартлари: бунда  $r=R_0$   $C=C_{ю}$ ;  $r=R_r$   $C=C_r$ .

Ўлчамсиз радиус  $\rho = r/R_0$  киритамиз. Сўнги тенгламага  $r = \rho R_0$  ни қўйиб ва доимий катталикларни кискартириб, уни айлантирамиз (ўзгартирамиз):

$$\frac{d}{d\rho} \left( \rho^2 \frac{dC}{dr} \right) = 0. \quad (2.69)$$

Чегара шартлари:

$$C(1) = C_{ю}; C(\rho_{я}) = C_{я} \quad (2.69 a)$$

бу ерда  $\rho_{я} = r_{я} / R_0$ .

(2.69 a) тенгламани икки марта интеграллаймиз:

биринчи интеграллаш:

$$\rho^2 dC/d\rho = A, \text{ ёки } dC/d\rho = A/\rho^2; \quad (2.70)$$

иккинчи интеграллаш:

$$C = -A/\rho + B.$$

Интеграллаш константалари бўлган A ва B ларни чегара шароитлари (2.69 a) тенгламадан топамиз:

$C(1) = -A + B = C_{ю}; C(\rho_{я}) = -A/\rho_{я} + B = C_{я}$ . Кейинги икки тенгламадан топамиз

$$A = \frac{\rho_{я}}{1 - \rho_{я}} (C_{ю} - C_{я}).$$

Энди (2.68 a) тенгламани ўзгартириб, бунинг учун оқим  $W_{II}$  ни  $r = r_{я}$  деб оламиз ва ўлчамсиз радиус  $\rho_{я}$  га ўтамиз.  $w_{II}$  учун келтирилган тенгламада  $\rho = \rho_{я}$  қилиб (2.70) тенгламадан  $dC/d\rho$  ни қўямиз, бунда A учун бўлган ифодадан фойдаланамиз. Бунда оламиз

$$W_{II} = -4\pi R_0 D \frac{\rho_{я}}{1 - \rho_{я}} (C_{ю} - C_{я}) \quad (2.71)$$

A билан B реакцияни биринчи тартибли деб қабул қиламиз.  $W_{III}$  айланиш тезлиги ядро юзасига пропорционалдир:

$$W_{III} = -4\pi r_{я}^2 k C_{я} = -4\pi R_0^2 k \rho_{я}^2 C_{я}. \quad (2.72)$$

(2.68), (2.71) ва (2.72) тенгламаларни (2.67) тенгламага қўйиб, оламиз:

$$\begin{aligned} 4\pi R_0^2 \beta (C_0 - C_{ю}) &= -4\pi R_0 D \frac{\rho_{я}}{1 - \rho_{я}} (C_{ю} - C_{я}) = \\ &= -4\pi R_0^2 k \rho_{я}^2 C_{я} = W_{заррача}. \end{aligned} \quad (2.73)$$

$W_{III}$  нинг ядрога айланиш тезлиги A нинг W заррачадаги айланиш тезлигининг худди ўзгинасидир. Иккилама тенгликнинг ҳар бир ифодаси (2.73 да) W заррачага тенгдир. Кузатилган айланиш тезлиги  $W_k$  ни қаттиқ заррача ҳажм бирлигининг  $4/3 \pi R_0^3$  га тенглаштирилганлигига таққослаймиз:



$$\frac{-3/R_0\beta(C_0 - C_{ю})}{a} = \frac{-3/R_0^2D\rho_s/(1-\rho_s)(C_{ю} - C_s)}{b} = \frac{-3/R_0k\rho_s^2C_s \equiv W_1}{c} \quad (2.74)$$

Мазкур иккалама тенглик икки тенгламанинг мажмуасидир ( $a=b$  ва  $b=c$ ), бундан  $C_{ю}$  билан  $C_s$  «кузатилмайдиган» концентрацияларни ва кейин  $W_k$  ни топиш мумкин:

$$W_k = \frac{(3/R_0)k\rho_s^2C_s}{1 + (k/D)R_0\rho_s(1-\rho_s) + (k/\beta)\rho_s^2} \quad (2.75)$$

ядро  $\rho_s$  ўлчами ўзгаришини (2.58) тенгламага ўхшашдан аниқлаймиз:

$$dN/dt = w_s \pi r_s^2 \quad (2.76)$$

Қаттиқ  $dN$  нинг  $dt$  вақтда ядро юзасида ўзгарадиган миқдори  $dN = 4\pi r_s^2 dr_s n_0$  га тенг бўлади. Қаттиқ ядронинг  $V$  компоненти айланиш тезлиги  $A$  нинг заррачадаги айланиш тезлиги:  $w_s 4\pi r_s^2 = W_k \cdot (4/3)\pi R_0^3$  га тенг бўлади. Бу нисбатлар ва ядронинг ўлчамсиз радиусидан фойдаланиб, (2.74)ни ўзгартирамиз:

$$d\rho_s/dt = w_s / (3n_0 \rho_s^2) \quad (2.77)$$

(2.73) ни (2.75) тенгламага қўйиб, жараённинг ядро радиуси ўзгариши ва бошқа кўрсаткичларини топиш мумкин бўлади.

**Жараён таҳлилини** лимитловчи босқичларни ҳар хил режимларда кўриб чиқамиз.

**А. Ташки диффузион режим.** Лимитловчи босқич-заррачани ўраб олган газ қаватидан компоненти нинг кўчишидир. Лимитловчи босқич тушунчасидан кўриладиётган режимдаги ташки кўчиш босқичидаги максимал ҳаракатлантирувчи куч  $C_{ю} \ll C_0$  ёки  $C_0 - C_{ю} \approx C_0$  бўлади. Концентрациялар тақсимланиши 2.26-расмда 1 чизиқ билан кўрсатилган. (2.74) тенгламадаги  $a$  иборасидан фойдаланиб,  $W_k$  учун (2.77)дан оламиз.

$$-d\rho_s/dt = \beta C_0 / (R_0 n_0 \rho_s^2)$$

Мазкур тенгламани интеграллаймиз:

$$-\int_0^{\rho_s} \rho_s^2 d\rho_s = \frac{\beta C_0}{kn_0} \int_0^1 dt;$$

$$1 - \rho_{\text{я}}^3 = \frac{\beta C_0}{k n_0} t.$$

ва оламиз

Тўла айланиш вакти ( $\rho_{\text{я}} = 0$  бўлганда) тенг бўлади:

$$t_k = R_0 n_0 / (3\beta C_0). \quad (2.78)$$

Қаттиқ модданинг айланиш даражаси  $x_{\text{в}} = 1 - \rho_{\text{я}}^3$  дир. Энди  $a$  ифодасидан (2.74)  $\rho_{\text{я}}$ ,  $x_{\text{в}}$  ва  $W_k$  лар учун сўнги ифодаларни олиш мумкин бўлади:

$$\rho_{\text{я}} = \left(1 - \frac{t}{t_k}\right)^{1/3}; \quad x_{\text{в}} = \frac{t}{t_k}; \quad W_k = -\frac{3}{R_0} \beta C_0 \quad (2.79)$$

Тегишлича боғланишлар 2.27-расмда берилган. Заррача ўлчами ва масса алмашинув шароитлари вақт ичида ўзгармайди ва жараён тезлиги  $w_k$  ҳам доимийдир.

Шу боис  $x_{\text{в}}$  чизикли ўсади,  $\rho_{\text{я}}$  эса аввалига секин ўзгаради, кейин ядро кичиклаша боруви билан тез ўсади.

Б. Ички диффузион режим.

Лимитловчи босқич – заррача ичидаги диффузион ташиш бўлиб, инерт қаватдан ўтишдир. Максимал ҳаракатланувчи куч мана шу босқичда бўлади, бунда  $C_0 \approx C_{\text{ю}}$ ,  $C_{\text{я}} \ll C_{\text{ю}}$  ва  $C_{\text{ю}} - C_{\text{я}} \approx C_0$  деб қабул қилиш мумкин,

Концентрациянинг тегишлича бўлиниши 2.26-расмдаги 2 чизик билан кўрсатилган. (2.74) тенгламадаги  $v$  ифодасини (2.77) тенгламага қўямиз.

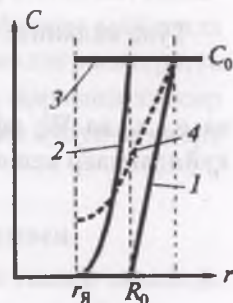
$$-\frac{d\rho_{\text{я}}}{dt} = \frac{DC}{R_0^2 n_0} \rho_{\text{я}} (1 - \rho_{\text{я}}).$$

Ушбу тенгламани интеграллаймиз:

$$t = \frac{R_0^2 n_0}{6DC_0} (1 - 3\rho_{\text{я}}^2 + \rho_{\text{я}}^3).$$

Тўла айланиш вакти

$$t_k = R_0^2 n_0 / (6DC_0) \quad (2.80)$$



2.26-расм. Газсимон компонент А концентрациясининг «сикилувчи ядро» гетероген жараёнида куйидаги режимларда бўлиниши: 1 – ташқи диффузион; 2 – ички диффузион; 3 – кинетик; 4 – ўткинчи.

Бу сярда  $\rho_a(t)$  ва  $x_b(t)$  лар боғланишини аниқ олиб бўлмайди.

$$t/t_k = 1 - 3\rho_a^2 + \rho_a^3; \quad t/t_k = 1 - 3(1-x_b)^{2/3} + 2(1-x_b). \quad (2.81, a)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги (2.74) тенгламадаги  $b$  ифодасидан келиб чиқади:

$$W_k = \frac{3D}{R_0^2} \frac{\rho_a}{1-\rho_a} C_0, \quad W_k = -\frac{3D}{R_0^2} \frac{(1-x_b)^{1/3}}{(1-x_b)^{1/3}} C_0, \quad (2.81б)$$

Тегишлича боғланишлар 2.27-расмда 2 чизиклар орқали кўрсатилган. Вақт ўтиши билан айланиш секинлашади, бунда инертнинг қавати қалинлашади, секинлашади, бунда жараёни лимитловчи диффузия инертнинг қалинлашувчи қавати орқали амалга ошади.  $\rho_a \rightarrow 1$  ёки  $x_b \rightarrow 0$  бўлганда жараён бошланишдаёқ  $W_k$  нинг чексизликка интилишига аҳамият берайлик. Бошда инерт қавати юпқа бўлиб, жараён лимитловчи босқичи – ундан массанинг кўчиши, кам асослангандек ва ички диффузион режим 2.81 даги тенглама моделини қўллаб бўлмайдигандек кўринади. Бунинг натижаси  $x_b \rightarrow 0$  бўлганда  $W_k \rightarrow \infty$  бу модел хоссаси ҳисобланиб, жараёнга тегишли бўлмайди.

**В.Кинетик режим.** Лимитловчи босқич – концентрация максимал, яъни  $C_0 \sim C_{ю} \sim C_a$  бўлганда кимёвий реакция ўтишидир. Концентрацияларнинг тарқалиши 2.26-расмдаги 3 чизик билан ифодаланган. (2.74) тенгламадаги  $b$  ифодасини (2.77) тенгламага қўямиз:

$$d\rho_a/dt = -3kC_0/(R_0n_0)$$

Бу тенгламани интеграллаймиз:

$$t = \frac{R_0n_0}{kC_0}(1-\rho_a) \quad (2.82)$$

Тўла айланиш вақти ( $\rho_a = 0$ )

$$t_k = R_0C_0/(kC_0),$$

ва  $\rho_a$ ,  $x_b$  ва  $W_k$  ифодалар учун (2.74) тенгламадаги  $b$  ифодасидан қуйидагилар келиб чиқади:

$$\rho_a = 1 - t/t_k; \quad x_b = 1 - (t/t_k)^3; \quad (2.83 a)$$

$$W_k = (-3_k/R_0)(1-t/t_k)^3 C_0;$$

$$W_k = (-3_k/R_0)(1-x_b)^{2/3} C_0. \quad (2.83 б)$$



Тегишлича боғланишлар – 2.26-расмдаги 3 чизиклардир. Заррачадаги айланиш тезлиги вақт бўйлаб пасаяди, бунда реакция ўтказиш жойи – ядро юзаси камаяди. Юза бирлигига бўлинган реакция тезлиги ўзгармайди, реакция доимий концентрация  $C_0$  да ўтади, ядро ўлчами бир хил маромда камайиб боради.

Жараён шароитларининг айланиш тезлигига таъсири ёзилган режимлар учун ҳар хилдир. Буни вақт бўйича тўла айланиш  $t_k$  (2.78), (2.82) тенгламалар ва кузатилган тезлик константаси  $K_k$  бўйича кузатамиз. Уни (2.75) тенгламадан  $C_0$  нинг олдидаги ҳамкўпайтмаси сифатида олиб, қуйидаги ҳолга келтирилади:

$$K_k = 3 \left( \frac{R_0}{k\rho_j^2} + \frac{R_0^2}{D} \frac{1-\rho_j^2}{\rho_j} + \frac{R_0}{\beta} \right)^{-1}. \quad (2.84)$$

Ковусдаги ибораларнинг ҳар бири жараённинг тегишлича босқичига «жавоб» беради. Кузатилган тезлик константаси жараён босқичлари параметрлари ( $k$ ,  $D$ ,  $\beta$ ), заррача ўлчами ( $R_0$ ) ва ядро заряд ( $\rho_j$ ) ларига боғлиқдир, яъни у жараёнда ўзгаради. Мазкур константа каттик заррача айлана борган сайин бир режимдан иккинчи режимга ўтишга олиб келиши мумкин. Ташқи диффузион режимда бошланган режим ички диффузионга ёки кинетикка ўтади, чунки  $\rho_j$  камайиши билан (2.84) тенгламадаги жараённинг бу ҳолатда ўтишига «жавобгар» бўлган биринчи ва иккинчи «иборалар» ўсади.

Ўтказилган ҳисоблар ва тажрибалар заррача атрофидан ўтаётган оқим тезлиги масса алмашинув коэффициенти  $\beta$  га, яъни ташқи диффузион режим жараёнига таъсир этишини кўрсатди. Бу ерда оқим тезлиги чегараланганлиги ҳам билинади.

Заррачани майдалаш ( $R_0$  нинг кичрайиши) жараённи интенсивлашда ижобий рол ўйнайди, айниқса, ички диффузион майдонда бу жуда сезилади, чунки бунда  $t_k$  нинг  $K_0$  га боғлиқлиги квадратга кўтарилади (2.82 тенгламага қаранг). Бу режимда жараёнга таъсир этишнинг бошқа иложи йўқ бўлиб, бунда  $D$  – ҳосил бўлувчи инерт материалнинг индивидуал параметридир.

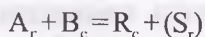
### 2.4.3. «Газ (суюқлик)-суюқлик» системаси

«Газ (суюқлик)-суюқлик» системасидаги ўзаро таъсир саноатда фазалар контакти усули бўйича бир неча кўринишларга бўлинади:

- барботаж (диспергирланган газ пуфаклар сифатида суюқлик бўйлаб кўтарилади);
- суғориш (томчилар сифатидаги суюқлик газ орқали чиқади);
- плёнкасимон оким (суюқлик юза бўйлаб пленка кўринишда оқади, газ оқими эса у бўйлаб ўтади);
- насадкали колоннада контакт орқали (плёнкасимон окимга якин, суюқлик насадкадан нотекисрок ҳолатда ўтади, газ эркин бўшлиқдан ўтади);
- газ-суюқлик оким (газ ва суюқликнинг қўзғолган оқими бир йўналишда характерланади).

**Жараён схемаси** 2.28-расмда келтирилган бўлиб, газнинг суюқлик билан ўзаро таъсирлашуви куйидагича кўринишда бўлиши мумкин: газ билан суюқлик оқими учрашади; фазалар бўлиниши чегараси мавжуд; компонентлар фазалар бўлиниши чегарасидаги юзадан кўчади; реакция фазалардан бирида ёки иккаласида амалга ошади. Ажратилган элементда компонентлар концентрацияси ҳар бир фазада бир хилдир. Шундай элемент сифатида: маълум ҳажмли атрофи суюқлик бўлган газ пуфаги; газ ҳажмидаги томчи ёки плёнкасимон газ-суюқлик оқимининг элементар қисмини ажратиш мумкин.

Жараёнда куйидаги вариантни кўриб чиқамиз. Дастлабки компонентлардан А – газда ва В – суюқликда жойлашган. Улар миқдори жараён шароитларига қараб олинган: А нинг газдаги парциал босими –  $P_A$  ва В нинг суюқликдаги концентрацияси –  $C_B$ . Реакция суюқ фазада олиб борилади. Реакция маҳсулотлари суюқликда қолади ёки газга ўтиши мумкин:



Реакция тезлиги куйидаги кинетик реакция билан ифодаланади:

$$r = k C_A C_B, \quad (2.85)$$

бу ерда  $C_A$  – суюқ фазадаги А нинг концентрацияси.

**Жараён структураси.** Иккала фаза оқувчан, шу сабабдан фазалар бўлиниши чегарасида диффузион чегараланиш қаватларини ажратиш мумкин. Жараён босқичлари куйидагилардир:

- 1) А компонентнинг газ ҳажмидан газ чегаравий қавати орқали фазалар бўлиниши чегараси юзасига қараб кўчиши (I босқич);
- 2) А кўчишнинг бўлиниш юзасида газдан суюқликка қараб амалга ошуви (II босқич)

3) А нинг бўлиниш юзасидан суюклик чегара қаватдан суюклик ҳажмига кўчиши (III босқич).

4) А ва В лар орасидаги реакция суюкликда бориши (IV босқич).

Реакция суюкликнинг чегара қаватида ҳам ўтиши мумкин, албатта, лекин унинг ҳажми ва умумий айланишдаги ҳиссаси камлигидан, реакция суюклик ҳажмидагина муқобилдир. Реакция маҳсулотлари жараён тезлиги ва масса кўчиш параметрларига таъсир этмайди ва кўчиш босқичларини ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

А концентрациясининг мумкин бўлган тарқалиши 2.28-расмда келтирилган.

Математик модель кўрсатилган кетма-кетликда оқимлар  $W_I$ ,  $W_{II}$  ва  $W_{III}$  нинг кўчиш босқичида бараварлигига ва компонент А нинг айланиш тезлиги  $W_{II}$  га асосланган:

$$W_I = W_{II} = W_{III} = W_{IV}. \quad (2.86)$$

Газ чегара қаватдан кўчишни қуйидагича ёзамиз.

$$W_I = \beta_r S (P_A^* - P_A) \quad (2.87)$$

бу ерда  $\beta_r$  – газ билан фазалар бўлиниш юзаси масса алмашилиш коэффициентини;  $P_A^*$  – А нинг фазалар бўлинишидаги парциал босими;  $S$  – фазалар бўлиниши юза катталиги.

$P_{[A]}$  – А нинг бўлиниши фазаси юзасидаги парциал босим;  $S$  – фазалар бўлиниш юзаси катталиги.

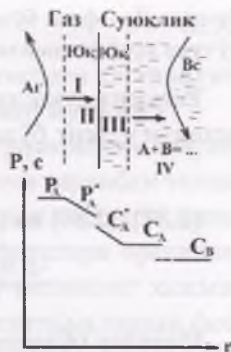
Фазалар бўлиниш юзасидаги кўчиш молекулалар ўлчами ма-софасида амалга ошади, газдаги юза олди парциал босим  $P_A$  ва суюкликдаги концентрация  $C_A^*$  мувозанатда бўлади (2.28-расмга қаранг):

$$C_A^* = K_a P_A^* \quad (2.88)$$

бу ерда  $K_a$  – абсорбция константаси.

А нинг чегара қаватдан кўчиши:

$$W_{II} = -\beta_c S (C_A - C_A^*), \quad (2.89)$$



2.28-расм. «Газ-суюклик» гетероген жараёни схемаси.



бу ерда  $\beta_c$  – фаза бўлиниши юзаси билан суюклик ҳажми орасидаги масса кўчуви коэффициентиги.

Реакция суюкликда ўтади ва А нинг унинг ҳажмидаги айланиш тезлиги  $v_c$  тенг бўлади:

$$W_{IV} = -kC_A C_B v_c. \quad (2.90)$$

(2.87), (2.89) ва (2.90) ларни (2.86) тенгламага қўйиб, оламиз:

$$\frac{-\beta_1 S(P_A^* - P_A)}{a} = \frac{-\beta_c S(C_A - C_A^*)}{b} = \frac{-kC_A C_B v_c}{c}. \quad (2.91)$$

Фазалар бўлиниш чегарасидан ўтувчи оқим фазавий мувозанат шароити билан алмашинади (2.88). Учта тенглама: бири – (2.88) ва иккитаси – (2.91) тенгламадан ( $a = b$  ва  $b = c$ ) – учта номаълумни топишга имкон беради:

( $a = b$  ва  $b = c$ ) – уч номаълум барқарорлашган концентрациялар  $P_C^*$ ,  $C_A^*$  ва  $C_A$  ни аниқлашга ёрдам беради. (2.91) тенгламадаги  $a = b$  дан (2.88) тенгламадаги нисбатни ҳисобга олган ҳолда топамиз:

$$C_A^* = (\beta_c C_A + \beta_r P_A) / (\beta_c + \beta_r / K_a) \quad (2.92)$$

(2.92) тенгламани (2.91)даги  $b = c$  тенгламага қўйиб, оламиз.

$$C_A = \frac{K_a P_A}{1 + (k/S_{\text{сол}})(K_a/\beta_r + 1/\beta_c)C_B}. \quad (2.93)$$

Бу ерда одатда суюклик билан газнинг контакт майдони кенглигини характерловчи фазалар бўлиниш солиштирма юзаси  $S_{\text{сол}} = S_{\text{сол}} = S/v_c$  дан фойдаланилади.

Агар кўчиш бир муҳитдан иккинчисига ўтишида бир неча кетма-кет босқичларда борса, унда унинг интенсивлиги газ билан суюклик орасидаги масса кўчиш умумий коэффициенти  $\beta$  билан аниқланади:

$$1/\beta = K_a/\beta_r + 1/\beta_c. \quad (2.94)$$

Оқувчан муҳитдан ташкил топган ҳаракатчан системада фазалар бўлиниши чегараси ҳам ҳаракатчан бўлади. Фазалар орасидаги масса кўчувчи шароитлари билан коэффициент  $\beta$  ва юза контакти  $S_{\text{сол}}$  ҳажм бўйича ўртачалаштирилади. Масалан, суюкликларда масса кўчиш коэффициенти  $\beta_c$  суюклик ҳажмининг бирлигига нисбат қилиб олинади:

$$\beta_0 = \beta S_{\text{соз}} \quad (2.95)$$

$\beta_0$  катталиги концентрация билан вақтнинг нисбати катталигига мос келишини /мол [моль/м<sup>3</sup>·с]да текшириб кўриш мумкин.

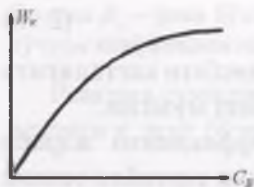
Масса кўчишининг бундай «ҳажмий» коэффиценти жараён ҳисоби учун қулайдир – унинг катталиги биринчи тартибли тезлик константаси катталиги билан мос тушади. Бундан ташқари экспериментал тадқиқотларда бериладиган таркиб фазалари орасидаги модда оқимини ўлчайдилар, шу боис масса кўчишининг ҳажмий коэффиценти  $\beta$  ни топадилар. (2.94) ва (2.95) тенгламалардан фойдаланиб, А компонентнинг суюқ фазадаги концентрациясини (2.93) қуйидаги кўринишда ифодалаймиз.

$$C_A = \frac{K_a P_A}{1 + (k/\beta_0) C_B} \quad (2.96)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги  $W_x$  ни  $C_A$  учун топилган ифодани (2.96) тенгламадагидан кинетик тенглама (2.85)га қўйган ҳолда топамиз.

$$W_x = \frac{k K_a P_A C_B}{1 + (k/\beta_0) C_B} \quad (2.97)$$

**«Газ-суюқлик» жараёни таҳлили.** Бунда  $W_k$  учун ёзилган ифоданинг кинетик тенгламага нисбатан ўзгачароқ эканлиги кўзга ташланадаи. Агар реакция тезлиги А ва В компонентлари учун биринчи тартибли бўлса, унда кузатиладиган тезлик компонентлардан бири реакцияни секинлаштиришга характерли бўлади. Мазкур ҳолатда В нинг концентрацияси ортиши билан реакция В нинг миқдорига боғлиқ бўлмаган ўлкага ўтади – бу компонент бўйича нолинчи тартибга эга бўлади, буни (2.97) тенглама ҳам кўрсатади. Бу 2.29-расмда келтирилган боғланиш билан ифодаланади. Реакциянинг тезлиги «тормозланиш» сабаби суюқликда А компонентнинг етишмаслигидир. В нинг концентрацияси ортиши билан суюқликка тушувчи А компонент кўпроқ сарфлана бошлайди ва унинг концентрацияси камаяди.  $C_B$  нинг янада кўпайиши суюқликка ўтувчи А компонентнинг барча миқдори шу захоти реакцияга киришади, у етишмайди, реакция тезлиги  $C_B$ га боғлиқ бўлмай қолади.



2.29-расм. Айланишнинг кузатилган тезлиги  $W_k$  «газ-суюқлик» гетероген жараёнда  $C_A$  суюқликнинг  $V$  концентрациясига боғлиқлиги.

**Жараён режими.** Кинетик режимда максимал ҳаракатланувчи куч реакцияда бўлади. Мазкур ҳолатда агар суюқлик компонент  $A$  билан тўйинган бўлса амалда, яъни  $C_A = K_A P_A$  шарт бажарилганда амалга ошади. Бу  $k/\beta_0 C_B \ll 1$  бўлганда бажарилади (2.96) ва унда оламиз.

$$W_k = -k K_A P_A C_B, \quad (2.98)$$

демак, айланиш тезлиги кинетик константа  $k$  га боғлиқ экан.

Диффузион режимда лимитловчи босқич – модданинг газдан суюқликка кўчиши ҳисобланади.

Мазкур ҳолатда  $C_A$  нолга яқин бўлади, чунки бу  $k C_A / \beta_0 \gg 1$  бўлганда амалга ошириб, оламиз:

$$W_k = \beta_0 K_A P_A, \quad (2.99)$$

бу  $A$  компонентнинг тоза, суюқликда  $A$  бўлмаган ҳолдаги кўчиш тезлигига тенг бўлади ва масса кўчиш коэффициенти  $\beta_0$  га боғлиқ бўлади.

**Жараёни интенсификациялаш.** Кинетик зонада асосий таъсир температура орқали боради, бунда реакция тезлиги константаси  $k$  унга боғлиқ бўлади (2.98), диффузион режим эса масса кўчиш коэффициенти  $\beta_0$  (2.99) тенгламага қаранг)га боғлиқ бўлган оқимлар тезлиги ва уларнинг турбулизациясига боғлиқ бўлади.  $\beta_0$  га фазалар контакти юзаси таъсир этади. Шу боис оқимларнинг диспергирланиши (пуфаклар ёки томчиларнинг кичрайиши) доимо ижобий таъсир кўрсатади. Бу ерда чегараланишлар ҳам вужудга келади, Барботажда пуфаклар ҳаракати, уларнинг суюқлик қаватидан юзага чиқиши гравитация билан аниқланади, бу ҳодисани эса бошқариб бўлмайди. Кўтарилаётганда майда пуфакчалар бирлашади: йириклари майдаланади. Реал ҳолатда ҳажмий коэффицент катталигини  $\beta_0 = 0,2 \div 0,3 \text{ с}^{-1}$  гача етказиш мумкин. Фазалар контакт юзаси насадка ёрдамида мажбурий равишда оширилиши мумкин. Бу ишнинг ҳам чегараси бор. Кенг юзали майда насадка қаватида газ ва суюқлик оқимлари учун бўшлиқ чеклан-



гандир. Масса ўтишининг хажмий коэффициентини  $0,5-0,6 \text{ с}^{-1}$  га етказиш мумкин.

Ихтиёрый газ-суюклик режимидаги жараённи интенсификациялашнинг яна бир усули бўлиб, бу газнинг суюкликда эришини яхшилашдир: абсорбция константаси  $K_a$  [(2.88) тенгламага қаранг] нинг ортуви билан айбланишнинг кузатилган тезлиги ўсади (2.97).

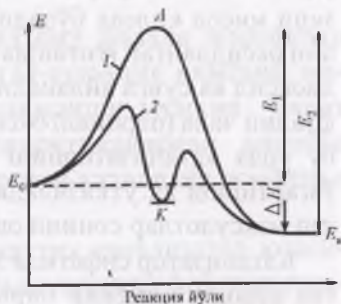
## 2.5. КАТАЛИТИК КИМЁВИЙ ЖАРАЁН

### 2.5.1. Катализ ва катализаторлар

Қатор кимёвий жараёнлар ўтишини тезлатиш учун уларни иницирлаш талаб қилинади. Бундай инициаторлар бўлиб кимёвий моддалар ҳисобланмиш катализаторлар хизмат қилади. Булар иштирокида борувчи жараёнлар **каталитик жараёнлар** дейилади. Махсус моддалар – катализаторлар кимёвий реакцияларни қўзғатиш ходисаси *катализ* асосини ташкил этади. *Катализатор* реакция давомида моддалар билан оралик бирикмалар ҳосил қилади ва кейин охирида ўзининг дастлабки ҳолатига қайтади.

Каталитик таъсир моҳияти куйидагидан иборатдир. Кимёвий айланиш ортиқча энергияга эга бўлган актив комплекс ҳосил бўлиши орқали боради. Бу компонентларнинг айланиши қайта гурухланиш ёки ўзгариш ва янги кимёвий боғлар ҳосил бўлиши учун старли бўлган моддалар бўлган реакция маҳсулотларига олиб келади. Кимёвий ўзаро таъсирда система энергияси ўзгариши 2.30-расмдаги эгри чизикда ўз аксини топган.

2.30-расм. Система энергияси  $E$  нинг реакция ўтиши билан ўзгариши (реакция йўлида) бевосита кимёвий таъсирлашув (1) ва катализатор (2) иштирокида.  $A$  – актив комплекс;  $K$  – катализатор билан ҳосил бўлган оралик модда;  $E_0$ ,  $E_K$  – дастлабки хом ашё ва маҳсулотлар энергияси;  $E_1$ ,  $E_2$  – тўғри ва тесқари йўналишдаги активланиш энергиялари;  $\Delta H$  – айланиш натижасидаги энергия ўзгариши (иссиклик эффекти).



Лекин барча молекулалар ҳам актив комплекс ҳосил қилишга старли энергияга эга бўлавермайдилар, активланиш энергияси бўлган  $E_1$  никидан катталаригина буни амалга ошира олади (2.30-расмга қаранг).

Агар зарур энергия  $E_1$  катта бўлса, унда реакция амалда бормайди. Катализатор янги реакция йўлини очади, бунинг боиси усиз ҳосил бўлиши мумкин бўлган актив комплексга қараганда кимёвий таъсирлашувда кам энергия сарфланади.

Иккинчи босқич (босқич)дан кейин реакцияда катализатор ўзининг кимёвий таркибини ўз ҳолига қайтаради ва унинг компонентлари маҳсулот таркибига кирмайди. Реакция йўли узайсада, босқичли ўтади, актив комплекс энергияси камайиши реакциянинг тезлигини оширишга олиб келади. Каталитик реакцияда система энергиясининг ўзгариши 2.30-расмдаги 2 эгри чизиги билан кўрсатилган.

Таъсирлашаётган системанинг бошланғич ва сўнгги ҳолати, шу жумладан, Гиббснинг эркин энергияси ҳам, катализаторли режимда ҳам, катализаторсиз режимда ҳам бир хил бўлади – катализатор айланишдан кейин ўз ҳолатини қайта тиклайди, ўзгармайди. Шу боис катализатор система мувозанатини ўзгартирамасада, айланиш тезлигига таъсир кўрсатади.

Катализаторнинг реагентлар билан ҳосил қилган оралик моддаси термодинамик мумкин бўлган йўналишларда айланиши мумкин. Шу йўлда катализатор айланишларда янги йўллар очади, яъни селектив таъсир кўрсатади. Катализ нафақат реакция тезлигини ошириш усули, балки у ёки бу айланишнинг йўналтирилган йўли бўлиб, жумладан, йўқ моддаларни олишни ҳам ўз ичига қамрайди (бунга табиатда учрамайдиган аммиак ва қатор полимерлар синтезини мисол қилсак бўлади). Бошқа бир мисолни кўрайлик. Нафталин оксидланган (ёнган)да тўла равишда деструкцияланиб, углевод диоксид ва сувга айланади. Лекин катализатор иштирокида эса нафталин чала (парциал) оксидланиб, фтал ангидридни ҳосил қилади, бу ерда катализаторнинг роли яққол кўринади. Катализаторни ўзгартириш ва ўтказиладиган реакцияга танлаш орқали олинadиган маҳсулотлар сонини ошириш имкони туғилади.

Катализатор сифатида элементар моддалар (металлар, активланган кўмир), кимёвий бирикмалар (оксидлар, сульфидлар, хлорид-

лар), мураккаб комплекслар, кўп атомли молекулалар ва уларнинг аралашмалари қўлланилади. Катализаторнинг ўзига хос хусусиятлари, таркиби ва тузилиши билан бир қаторда кимёвий реакциянинг турига ҳам боғлиқдир.

Катализ табиатдаги ва саноатдаги кимёвий айланишларда муҳим аҳамият касб этади. Ҳозир саноатда олинувчи маҳсулотларнинг 30 % дан ортиғида катализаторлар қўлланилади. Энг муҳим кимёвий маҳсулотлар олишнинг у ёки бу босқичида катализаторлар ишлатилиши маълум (70 % дан ортиғида).

Каталитик реакциялар турли белгиларига қараб синфланади. Оддий синфлаш фазавий белгиларига қараб қилинади ва гомоген, гетероген ва микрогетероген каталитик реакцияларни ўз ичига олади.

Гомоген каталитик реакцияда (ёки гомоген катализда) таъсирлашувчи моддалар ва катализатор битта фазани ташкил этади (масалан, суюқ ёки газли).

Гетероген катализда таъсирлашувчи моддалар ва катализатор турли фазаларда бўлади (масалан, катализатор қаттиқ, таъсирлашув моддалар газ фазада).

Микрогетероген катализ гомоген ва гетероген катализ орасида бўлади. Бунда катализатор бўлиб катта полимер малекулалари хизмат қилади. Буларда ўзаро таъсирлашаётган унча катта бўлмаган молекулалар гетероген зарраларга ўхшайди, аммо улар реагентлар билан битта физик фазани ташкил этади. Бу гуруҳга ферментатив реакциялар қиради, бунда катализатор (фермент) – йирик мураккаб таркибли ва тузилиши оксил молекулаларидир. Шу сабабли микрогетероген катализни ферментатив катализ деб ҳам юритадилар.

Гомоген ва микрогетероген катализ бир фазали жараёнлар бўлиб, юқорида айтилган гомоген ва газ-суюқлик кимёвий жараёнларга тегишли қонуниятлар қўлланилиши мумкин. Фақат кинетик тенгламада катализатор концентрациясини ҳисобга олиш керак бўлади. Бундан буён гетероген-каталитик жараёнга тўхталамиз.

Бундай реакциянинг ўтиш жойи – қаттиқ катализатор юзасидир. Уни кўпайтириш учун ғовакли катализатордан фойдаланила-





2.31-расм. Гетероген каталитик кимёвий жараён схемаси ва структураси. К катализатор; F катализатор ғоваклари; Ч<sub>к</sub> – чегара кават; I, II, III – жараён босқичлари.

ди. Улар юзаси (ички) бир куб сантиметрда ўнлаб ва юзлаб квадрат метрга етади. Жисмнинг ташки юзаси бундай ҳажмда,  $10^3\text{м}^2$  атрофида, яъни ички юза ташкидан  $10^3\text{--}10^5$  марта каттадир ва буни айланишнинг умумий тезлигида ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

Жараён схемаси 2.31-расмда келтирилган. Реагентлар аввалига газ ҳажмидан чегара кават орқали заррача-катализаторнинг ташки юзасига диффузияланади (2.31-расмдаги I-босқич), кейин-ғоваклар бўйлаб ичкарига киради (II босқич). Ғоваклар бўйлаб ҳаракат пайтида улар юзасида бир вақтнинг ўзида реакция ҳам боради (III босқич). Маҳсулотлар тескари йўл билан олиб чиқилади.

### 2.5.2. Катализаторнинг ғовакли донаси

Катализаторлар компонентларни эритмалардан чўктириш ёки биргаликда чўктириш орқали тайёрланади. Олинган масса қуритилади, қиздирилади. Натижада майда зарралар ёпишиб қолган структура ҳосил бўлади. Булар орасидаги фаза – ғоваклардир, булардан реагентлар диффузияланади. Булар – чўктирилган ёки аралаш катализаторлар ҳисобланади. Худди шу йўл билан ғовакли инерт материалдан ташитгичлар тайёрланади. Унга актив компонентлар ўтказилади, бу эритмадан юткизиш орқали амалга оширилади (ўтказилган катализаторлар). Ўзга усуллар ҳам мураккаб шаклли капиллярлар тармоғини ҳосил қилишга олиб келади. Мана шундай йўл билан каттик сорбентлар – адеорбенийлар тайёрланишини ҳам эслатиб ўтамиз. Олинган ғовакли материални цилиндрик, халқасимон, шарсимон ёки бошқа шаклга, шу жумладан, геометрик шаклсиз ҳолга ҳам келтирадилар. Саноат катализаторлари доналари (ўлчамлари) бир неча миллиметр (3–6 мм)да тайёрланиб, кенгроқ тарқалганлари шу хилдадир. Шундай қилиб катализатор ички юзаси кенг бўлган ғовакли доналардир.

Говакли структура, маълум йўллар оркали ўлчаш билан, куйидаги параметрлар билан характерланади:

–  $S_{\text{сол}} [M^2/2]$  ёки  $[M^2/cm^3]$  – солиштира ички юза;  $S_{\text{сол}}$  катталиги – катализатор заррачасининг бир куб сантиметрида бирдан юзларгача ва ундан ортиқ квадрат метр юза мавжуд бўлади;

$\epsilon$  – бўшлиқ – эркин ҳажм, говаклар (катализатор донаси умумий ҳажми кисми), бунда реагентлар транспорт қилинади;

$r_f$  – говакларнинг ўртача радиуси; унинг катталиги  $10^6$ – $10^9$  м оралиғидадир.

Катализатор донасидаги говак структурани ҳосил қилувчи заррачалар ёки алоҳида ҳосиллар сони,  $10^6$ – $10^9$  га тенг бўлиб, бу ерда ундаги жараён моделини тузишнинг статистик йўлини топишга имкон беради. Катализаторнинг говак донаси бир хил масса сифатида қаралади. Унда компонентлар кўчиши эффе́ктив коэффициенти  $D_{\text{эф}}$  бўлган диффузия сифатида кўрилади. Реакция бутун ҳажм бўйлаб ўтади. Бундай бир хил муҳитда айланиш тезлиги  $w$  деб олинади.

Айланишнинг ҳақиқий тезлиги говаклар юзасидан  $W_{\text{сол}}$  (юза бирлигида ҳисобланганда)  $w$  билан куйидаги нисбатда боғланган бўлади:

$$w = w_{\text{сол}} S_{\text{сол}} \quad (2.100).$$

Диффузиянинг эффе́ктив коэффициенти  $D_{\text{эф}}$  кўчишнинг бутун муҳит бўйлаб эканлигини характерлайди. Амалда диффузия донанинг фақат эркин ҳажмидаги говакнинг ўртача радиуси  $r_o$  да ўтади. Бундай катталикдаги капиллярники сингари говакнинг диффузия коэффициенти  $D_f$  билан ифодаланади. Говакдаги кўчиш бир қатор омиллар – говакларниш эгри-бугрилиги, уларнинг кесишишлари ва тармоқланганлиги, улар кесимининг ўзгарувчанлиги билан мураккаблашади.  $D_{\text{эф}}$  ва  $D_f$  ларни ўтказувчанликнинг эмпирик коэффициенти билан ифодалаш мумкин:

$$D_{\text{эф}} = \bar{Y} D_f \quad (2.101)$$

Говакли катализаторлар, улар учун ташитгич ва адсорбентларнинг юзлаб хилининг  $D_{\text{эф}}$  ини ўлчашдан олинган маълумотларни таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, ўтказувчанликнинг коэффициенсти катталиги тор чегарада, яъни:  $\bar{Y} = 0,1 \div 0,2$  атрофида ётади.

Ингичка, ўлчами молекуланинг эркин ҳаракати лдан кичик (атмосфера босимида –  $10^8$  м дан кичик) капиллярларда молекулар асосан девор билан учрашадилар, бунда улар бир-бири билан учрашмайдилар. Буларда модда кўчиши Кнудсен диффузияси билан аниқланади. Кнудсен диффузияси коэффициентини  $D_k$  куйидаги формула билан аниқланади

$$D_k = 9700 r_f \sqrt{T/M}, \quad (2.102)$$

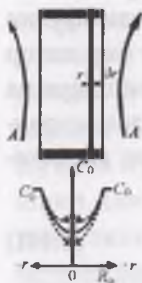
бу ерда  $M$  – компонентнинг молекуляр массаси; 9700 коэффициенти – Кнудсен формуласига кирувчи физик константалардан олинган бўлиб, ўлчамлари  $D_k$  [см<sup>2</sup>/с],  $r_f$  [м], ва  $T$  [К] дир.

Агар ғоваклар катталигини  $\lambda$  катталиги билан солиштирсак, унда диффузия кнудсен ва молекуляр диффузиялар оралиғида бўлади ва капиллярдаги диффузия коэффициенти куйидаги формуладан топилади:

$$1/D_r = 1/D_k + 1/D. \quad (2.103)$$

Юқорида кўрсатилган  $\bar{U}$  нинг катталиги ва (2.102) ҳамда (2.103) формулалар тўғридан-тўғри ўлчовлар бўлмаганда  $D_{эф}$  нинг катталигини бир мунча аниқлик билан топишга имкон беради.

**Математик модель.** Катализаторнинг ғовакли структурасини узлуксиз (квазигомоген) муҳит деб қараш мумкинлиги ғовакли катализатор донасида жараённинг математик моделини яратишга имкон беради. Ташқи кўчиш интенсив бўлган ва буни ҳисобга олмаса ҳам бўладиган жараённи кўриб чиқамиз. Аввалига катализаторнинг донаси оддий шаклга – қалинлиги  $2R_0$  бўлган пластинкада,  $C_0$  концентрацияли компонент икки қарама-қарши томондан ўтувчи жараённинг ўзига хос томонларини қараймиз (2.32-расм). Пластинканинг кўндаланг қисми «ёпиштирилган», бу ерда реагент катализатор ичига фақат ён қирралари майдони  $S$  дан қиради. Жараён текисликка нисбатан симметрик ўтади, у ювиб ўтиладиган қирралар оралиғидадир. (Симметрия текислиги 2.32-расмда штрих-пунктир орқали кўрсатилган).



2.32-расм.  
Катализаторнинг текис донаси.



Реагентлар ғовак пластинка ичига диффузияланади ва у ерда таъсирлашадилар. Уларнинг марказга қараб концентрациялари камаяди, бу 2.32-расмдан кўриниб турибди. Жараён симметриклигини ҳисобга олиб, унинг математик моделини ясси доннинг биринчи ярмиси учун тузамиз.

Симметрия текислигидан  $r$  масофада қалинлиги  $dr$  бўлган қават ажратамиз. Симметрия текислигига параллел бўлган кесимдан ўтувчи модданинг диффузион оқими  $D_{эф} S dC/dr$  га тенг бўлади. Мана шу ажратилган қаватдан ўтувчи оқимни ўзгартириш реакция натижасида  $A$  модданинг шу қаватда пайдо бўлиши (йўқолиши) билан боғлиқдир.  $A$  нинг ҳосил бўлиш тезлиги  $W(C)Sdr$  (бу ерда  $S dr$  – ажратилган текис қаватдаги катализатор ҳажми)га тенг бўлади. Стационар режимда

$$d[-D_{эф} S(dC/dr)] = w(C)Sdr.$$

Мазкур тенгламани ўзгартирамиз:

$$D_{эф} \frac{d}{dr} \left( \frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0,$$

ёки

$$D_{эф} \frac{d^2 C}{dr^2} + w(C) = 0. \quad (2.104)$$

(2.104) тенглама – иккинчи тартибли дифференциал тенгламадир. У интегралланганида интеграллашнинг икки ноаниқ константалари вужудга келади. Ечим бир хил бўлиши учун интеграллаш константасини топишга яна икки тенглама зарур бўлади. Чегара шартлари учун зарур дифференциал тенгламалар тенгламаларнинг ёпиқ системаси дейилади.

Бу ерда бир шарт аниқ бўлиб, пластинка – катализаторнинг ташки юзасида реагент концентрацияси  $C_0$  га тенг бўлади: бунда

$$r = R_0 \quad C = C_0 \quad (2.104 \text{ а})$$

Координаторлар бошида бошқа шартни ҳам ифодалаймиз:

$$r = 0 \text{ бўлганда } dC/dr = 0 \quad (2.104 \text{ б})$$

ва бунн мухокама киламиз. Симметрия текислиги оркали ўтувчи оқим  $-D_{\text{эф}} S(dC/dr)=0$  га тенг бўлади. Айтайлик, концентрациялар градиенти нолга тенг эмас – масалан,  $dC/dr > 0$ . 2.32-расмда пункт-ир билан кўрсатилган. Бу симметрия текислиги ўнг томонига қандайдир оқим келади, демакдир. Симметрия шароитдан симметрия текислиги чап томонидан ҳам шундай оқим келади (расмда стрелкалар билан ифодаланган). Битта ҳам чиқиб кетмайди, бу мумкин бўлмаган ҳолдир. Шунга ўхшаш,  $dC/dr < 0$  бўлганда симметрия текислигининг чап ва ўнг томонидан иккита оқим чиқади ва кирадиганлари бўлмайди. Симметрия текислигидан ўтувчи оқимнинг бўлмаслиги физик жиҳатдан аниқланилган шарт бўлади:  $-D_{\text{эф}} S_b dC/dr = 0$ . Бундан чегара шarti (2.104 б) симметрия шартининг ўзи эканлиги келиб чиқади.

**Сифат анализини** биринчи тартибли реакция учун катализаторнинг ғовакли донасида ўтказамиз, бунда  $w(C) = -kC$  дир. Ўлчамсиз радиус  $\rho = r/R_0$  ( $r = \rho R_0$ ) ва нисбий концентрация  $y = C/C_0$  ( $C_0 = yC_0$ ) ни киритамиз. (2.104) тенглама ва (2.104 б) шартларни қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$d^2y/d\rho^2 = \varphi^2 y; \quad (2.105)$$

$$dy/d\rho|_0 = y'(0) = 0; \quad y(1) = 1 \quad (2.105 \text{ а})$$

(2.105) тенгламада жараён шароитлари ўлчамсиз параметрга жамланган:

$$\varphi = R_0 \sqrt{k/D_{\text{эф}}} \quad (2.106)$$

Бундай масалани биринчи бўлиб Я.Б. Зельдович билан Е. Тилесер бажарганликлари боис  $\varphi$  параметри Зельдович-Тиле модули деб аталади.

(2.105) тенглама қуйидаги типда ифодаланувчи доимий коэффициентли чизикли дифференциал тенгламадир.

$$ay'' + by' + cy = 0,$$

бу ерда  $y''$  ва  $y'$  –  $y$  нинг  $\rho$  бўйича иккинчи ва биринчи ҳосилалари.

Унинг умумий ечими:

$$y = Ae^{\mu_1 \rho} + Be^{\mu_2 \rho},$$

бу ерда  $A, B$  – интеграллаш константалари;  $\mu_1, \mu_2$  – характеристик тенглама илдизлари.

$$a\mu_1 + b\mu_2 + c = 0.$$

тенглама учун  $\mu_{1,2} = \pm \varphi$ , ва умумий ечим куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$y = Ae^{\varphi\rho} + Be^{-\varphi\rho}.$$

Чегара шартлари (2.105 а) дан  $A$  ва  $B$  ларни аниқлаймиз. Буларнинг биринчиси

$$y'(0) = A\varphi e^{\varphi\rho} - B\varphi e^{-\varphi\rho}|_{\rho=0} = A\varphi - B\varphi = 0,$$

бундан  $A = B$ . Иккинчи шарт (2.105 а) тенгламадан  $A = B$  ҳисобга олинганда:

$$y(1) = Ae^{\varphi\rho} + Be^{-\varphi\rho}|_{\rho=1} = A^{\varphi} + B^{-\varphi} = 1,$$

бундан  $A = 1/(e^{\varphi} - e^{-\varphi})$ . Масаланинг тўла ечими (2.105) – (2.105 а) – донанинг ичкараси бўйлаб концентрациянинг таркалишидир:

$$y = (e^{\varphi\rho} - e^{-\varphi\rho}) / (e^{\varphi} - e^{-\varphi}). \quad (2.106 \text{ а})$$

$y(\rho)$  боғланиши 2.32-расмнинг остки қисмидаги концентрациянинг таркалиши  $C(r)$  нинг яхлит чизик кўринишида ифодаланади. Айланишнинг кузатилган тезлиги пластинка бўйлаб ўрта интеграл қийматга эга бўлади:

$$W_k = \frac{1}{R_0 S} \int_0^{R_0} w[C(r)] S dr = -\frac{1}{R_0} \int_0^{R_0} kC(r) dr.$$

Ўлчамсиз ўзгарувчилар  $y$  ва  $\rho$  ларга ўтган ҳолда (2.106 а) тенгламадан фойдаланиб, оламиз.

$$W_k = -kC_0 \int_0^1 y(\rho) d\rho = -\frac{kC_0}{e^{\varphi} + e^{-\varphi}} \int_0^1 (e^{\varphi\rho} - e^{-\varphi\rho}) d\rho = -\frac{kC_0}{\varphi} \frac{e^{\varphi} - e^{-\varphi}}{e^{\varphi} + e^{-\varphi}}. \quad (2.107)$$

энди гиперболик функция – синус, косинус ва тангенсни қўллаб, тегишлича гиперболик маълумотлар топилади:

$$\operatorname{sh}\varphi = (e^{\varphi} - e^{-\varphi})/2; \operatorname{ch}\varphi = (e^{\varphi} + e^{-\varphi})/2; \operatorname{th}\varphi = \operatorname{sh}\varphi/\operatorname{ch}\varphi. \quad (2.108)$$

Булар билан олиб борилган операциялар (дифференциялаш, интеграллаш) тегишлича тригонометрик функциялар операцияларига ўхшашдир. (2.107) ифодаси куйидаги кўринишга келтирилади

$$W_k = -\frac{\sqrt{kD_{\text{эф}}}}{R_0} \text{th}\varphi \cdot C_0. \quad (2.109)$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги концентрация бўйича биринчи тартибда қолади ва  $C_0$  олдидаги ифоданинг бир қисми тезликнинг кузатилган константаси деб аталади:

$$K_k = -\frac{1}{R_0} \sqrt{kD_{\text{эф}}} \text{th}\varphi. \quad (2.110)$$

Компонент концентрацияси катализатор донаси ичкарисига қараб камайиб боради, шу боис  $W_k C_0$  нинг «кузатилган» концентрациясидаги тезлигидан кичик бўлади. Унинг даражаси камайиши ҳам жараён характеристикасидир.

Катализатор донасидаги айланишнинг кузатилган тезлиги  $W_k$  нинг юза шартларидаги тезлик  $w(C_0)$ га нисбати ички юзанинг ишлатилиш даражаси  $\eta$  дейилади:

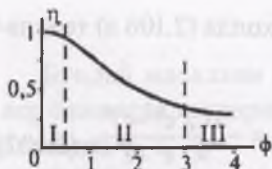
$$\eta = \frac{W_k}{wC_0} = \frac{\sqrt{kD_{\text{эф}}} \text{th}\varphi \cdot C_0}{R_0 - kC_0} = \frac{\text{th}\varphi}{\varphi}. \quad (2.111)$$

Ушбу катталик ғовак донда жараёндаги кўчиришнинг айланиш тезлигига таъсир эффеќтини кўрсатади ва фаќат параметр  $\varphi$  га боғлиқ бўлади.  $\eta(\varphi)$  графиги 2.33-расмда келтирилган.

**Катализаторнинг ғовак донасидаги жараён тахлили. Жараён режими.** (2.110) тенгламадан (2.108) ни ҳисобга олган ҳолда  $\varphi \rightarrow 0$   $\eta \rightarrow 1$  ни олиш мумкин. Ҳақиқатан  $\varphi$  пластинка юпқа бўлганда кичик бўлиши мумкин ( $R_0$  кичик бўлганда).

Реагентлар унинг ўртасига осон етиб боради, донанинг ички қисмида реагентлар концентрацияси кам ўзгаради, реакция унинг ичкарисида юзадаги концентрацияга яқин ҳолда боради.

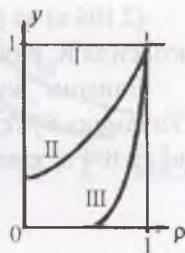
Бу (2.106) тенгламадан келиб чиқади: бунда  $\rho=0$  ва  $\varphi \rightarrow 0$  бўлганда  $y(0) \approx 1$  га эга бўлаемиз, яъни концентрация марказда юзадаги сингари эканлиги кўринади. 2.34-расмдаги I чизик концентрациянинг шундай тарқалганлигини кўрсатади. Бундай ҳолда  $W_n w(C_0)$ га яқин ва  $\eta \approx 1$ . Бундан



2.33-расм. Катализаторнинг ички юзаси ишлатилиш даражаси  $\eta$  нинг  $\varphi$  параметрга боғлиқлиги. Пунктирлар – режимларнинг тахминий чегаралари: I – кинетик; II – ўткинчи; III – ички диффузион.



2.34-расм. Нисбий концентрация унинг катализатор кавати  $\rho$  да кинетик (I), ўтувчан (II) ва ички диффузион режимларда концентрациянинг тарқалиши III чизикда ифодаланган.



ташқари  $y(0) \approx 1$  шартти реакциянинг максимал ҳаракатлантурувчи кучини кўрсатади ва қуйидаги шартга аниқлик киритади: лимитловчи босқич-реакция, режим-кинетикдир. Агар  $\eta$  1 дан 10% гача фарқ қилади деб ҳисобласак, унда кинетик режим  $\varphi < 0,5$  бўлади. Бу кинетик режимнинг чегараси бўлиб, у 2.33-расмда кўрсатилган.

Агар  $\varphi$  катта бўлса (қалин пластинка), унда реагентлар пластинка ўртасига етиб бориши қийинлашади. (2.106) тенгламадан  $\varphi$  катта бўлганда дона марказида  $y(0) \approx 0$  га яқин бўлади. 2.34-расмда концентрациялар тарқалишига III чизик жавоб беради. Унда  $\varphi$  ортиши билан  $\eta \rightarrow 1$  ва

$$\eta = 1/\varphi. \quad (2.112)$$

Кўчиш жараёнида максимал ҳаракатланувчи куч аниқланади: лимитловчи босқич – диффузия, режим – ички диффузиондир. Ички диффузион режим  $\varphi > 3$  бўлишини амалий жиҳатдан аниқ деб қабул қилиш мумкинки, бу 2.33-расмдан кўриниб турибди.

Кинетик ва ички диффузион режимлар орасида ўтқинчи режимлар ўлкаси ётади.

*Дона шакли.* Реал ҳолатга яқин бўлган катализатор донаси – шар ҳолдагисини кўриб чиқамиз. Мазкур шакл марказий симметрияга эгадир. Моделни текис донага олгандек тузамиз. Сферик юзадан ўтувчи диффузион оқим  $[D_{\text{эф}} \cdot 4\pi r^2 dC/dr]$  га тенг бўлади. Сферик каватда айланиш тезлиги  $w(C) \cdot 4\pi r^2 dr$  дир. Стационар режимда

$$d(-D_{\text{эф}} \cdot 4\pi r^2 dC/dr) = w(C) \cdot 4\pi r^2 dr.$$

Ушбу тенгламани одатда қўлланилувчи икки шаклга келтирамыз:

$$\frac{D_{\text{эф}}}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0, \quad (2.113)$$

ёки

$$D_{\text{эф}} = \left( \frac{d^2 C}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dC}{dr} \right) + w(C) = 0. \quad (2.113 \text{ а})$$



(2.104 а) ва (2.104 б) ларга ўхшаш чегара шартлари заррача – шар юзасида  $R_0$  радиус билан ва унинг марказида деб белгиланган.

Ечимни биринчи тартибли жараён реакцияси учун оламиз. Ўлчамсиз бўлган  $\rho = r/R_0$  ва  $y = C/C_0$  лардан ажқлланамиз. (213 а) дан ва (2.104 а) ҳамда (2.104 б) лардаги чегара шартларидан оламиз:

$$\frac{d^2y}{d\rho^2} + \frac{2}{\rho} \frac{dy}{d\rho} = \varphi^2 y; \quad (2.114)$$

$$y'(0) = 0; \quad y(1) = 1 \quad (2.114 \text{ а})$$

Худди жараён моделидаги сингари текис донадаги параметр  $\varphi$  тенг бўлади тенг бўлади  $\varphi = R_0 \sqrt{k/D_{\text{эф}}}$ . Ўзгарувчи  $z = y_{\rho}$  ни киритамиз ва  $y = z/\rho$  ни (2.114) тенгламага кўямиз:  $d^2z/d\rho^2 = \varphi^2 z$ .

Бундай тенгламанинг ечими юқорида олинган эди:

$$z = Ae^{\varphi z} + Be^{-\varphi z}, \quad \text{ёки } y = (Ae^{\varphi \rho} + Be^{-\varphi \rho})/\rho^2.$$

(2.114 а)дан чегара шартларини қўллаб, донанинг чуқурлиги бўйича концентрация ўзгариши учун сўнги ечимни топамиз:

$$y = \frac{1}{\rho} \frac{e^{\varphi \rho} - e^{-\varphi \rho}}{e^{\varphi} - e^{-\varphi}} = \frac{1}{\rho} \frac{\text{sh} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi} \quad (2.115)$$

Айланишнинг кузатилган тезлигини ўзга усул билан аниқлаш мумкин. Стационар режимда дона ичига кирувчи компонент – тўла таъсирлашади. Шу боис компонентнинг ташқи юзасидаги диффузион оқими  $J = -D_{\text{эф}} 4\pi R_0^2 (dC/d\rho)_{r=R_0}$  мазкур компонентнинг бутун донадаги айланиш тезлигига тенг бўлади. Уни дона ҳажми  $v_1 = (4/3)\pi R_0^3$  бирлигига тақсимлаб, айланишнинг кузатилган тезлигини оламиз:

$$W_k = \frac{J}{v_1} = -\frac{4\pi R_0^3 D_{\text{эф}}}{(4/3)\pi R_0^3} \left( \frac{dC}{dr} \right)_{r=R_0} = -\frac{3D_{\text{эф}} C_0}{R_0^2} (dy/d\rho)_{\rho=1}.$$

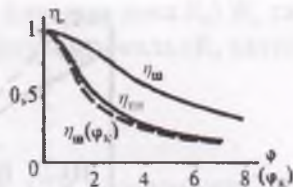
(2.115) тенгламадан оламиз

$$\frac{dy}{d\rho} = \frac{1}{\rho} \frac{\text{ch} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi} - \frac{1}{\rho^2} \frac{\text{sh} \varphi \rho}{\text{sh} \varphi}$$

ва ксйин

$$W_k = -\frac{3kC_0}{\varphi} (\text{cth} \varphi - 1/\varphi).$$

2.35-расм. Пластинка кўринишидаги ( $\eta_{пл}$ ) катализатор ички юзаси  $\eta$  ва шарнинг ( $\eta_{ш}$ ) нинг ишлатилиш даражасининг параметр  $\varphi$  ва келтирилган параметр  $\varphi_{ксл}$  га боғлиқлиги.  
Пунктир –  $\eta_{ш}(\varphi_{ксл})$ .



Ички юзадан фойдаланиш даражаси:

$$\eta = \frac{W_k}{w(C_0)} = \frac{W_k}{-kC_0} = \frac{3}{\varphi} \left[ \text{cth}\varphi - \frac{1}{\varphi} \right]. \quad (2.116)$$

Мана шу боғлиқлик  $\eta(\varphi)$  солиштириш учун 2.35-расмда кўрсатилган (белгиланиши: шар учун –  $\eta_{ш}$ , пластинка учун  $\eta_{пл}$ ). Улар ҳар хиллиги дона шакли  $\eta$  нинг таъсири борлигини англатади. Иккала боғланишни мужассамлаштиришга ҳаракат қиламиз. Донанинг келтирилган ўлчами  $R_{ксл} = v_d/S_d$  ни киритамиз, унинг ҳажми  $w_d$  нинг ташқи юза  $S_d$  га нисбати:

пластинка учун  $R_{ксл} = 2R_0S | 2S = R_0 (S - \text{ёнаки юза})$ ;

$$\text{шар учун } R_{ксл} = \frac{4}{3} \frac{\pi R_0^3}{4\pi R_0^2} = \frac{R_0}{3}.$$

Модификацияланган параметр киритамиз:

$$\varphi_m = \frac{v_d}{S_d} \sqrt{\frac{k}{D_{эф}}}. \quad (2.117)$$

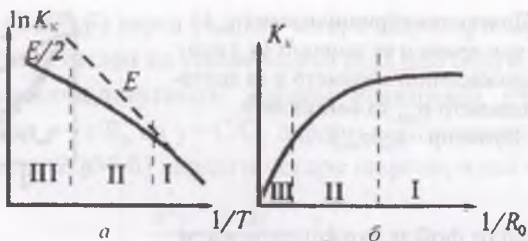
(пластинка учун  $\varphi_m = \varphi$ , шар учун  $\varphi_m = \varphi/3$ ) ва (2.115)ни ўзгартирамиз.

$$\eta_m = \frac{1}{\varphi_m} \left( \text{cth}3\varphi_m - \frac{1}{3\varphi_m} \right). \quad (2.118)$$

$\eta_{пл}(\varphi_m)$  ва  $\eta_{ш}(\varphi_m)$ лар учун асимптоталар  $\varphi_m \rightarrow 0$  ва  $\varphi_m \rightarrow \infty$  бир-бирига мос тушади ва тегишлича 1 ва  $1/\varphi_m$  га тенгдир.

Шар учун  $\eta_{ш}(\varphi_m)$  2.35-расмда пунктирда кўрсатилган.

$\eta_{ш}$  билан  $\eta_{пл}$  орасидаги максимал фарқ ўтиш чегарасида 10% дан биров ошади. ( $\varphi_m$ ) бўйича катализатор донасининг турли шакллари учун ўтказилган ҳисоблар  $\varphi_m$  параметри (2.117) кўринишида универсаллигини кўрсатди ва  $\eta$  ни (2.111) ёки (2.118) формулалари бўйича катализатор донасининг ихтиёрий шакллари учун қўлланилиши мумкинлигига асос берди.



2.36-расм. Реакция тезлик константаси  $k$  (пунктир) ва айланишнинг кузатилган тезлиги  $K_k$  ларнинг ғовакли катализатор донасида температура  $T$  (а)га ва катализатор донаси ўлчами  $R_0$  га боғлиқлиги (б). Пунктирлар режимлар ҳолатини ажратади: I – кинетик; II – ўтқинчи; III – ички диффузион.

Айланишнинг кузатилган тезлигига температура таъсирини (2.109) тенгламадан аниқлаймиз. Реакциянинг тезлик константаси температурага боғлиқдир:  $k = k_0 \exp(-E/RT)$ . У билан солиштирилганда  $D_{\text{эф}}$  температурага боғлиқ бўлмайди, деб қабул қилиш мумкин. Ички диффузион зонада ( $\varphi$  катта,  $th \varphi \approx 1$ ).

$$W_k = -\frac{1}{R_0} \sqrt{k_0 D_{\text{эф}}} e^{-E/2RT} C_0.$$

$C_0$  олдидаги ифоданинг бир қисми тезликнинг кузатилган константаси  $K_k$  дир. У  $K_k$  нинг температурага экспоненциал, аррениусча боғлиқлигини, аммо активланиш энергияси  $E/2$  билан реакция тезлик константаси  $k$  га қараганда икки барабар камлигини сақлайди.  $K_k(T)$  нинг боғлиқлиги умумий кўриниши 2.36, а-расмда кўрсатилган. Паст ҳароратли температураларда  $k$ , демак  $\varphi$  ҳам кичикдир, жараён кинетик зонада боради ва  $K_k$   $k$  билан мос тушади (графикнинг ўнг томони). Юқори ҳароратда диффузион режимда  $K_k(T)$  ҳам экспоненциал боғланишдадир, лекин активланиш энергиясидан икки барабар кам ҳолда ва диффузия коэффициентининг температурага мос келмаслиги билан характерланади. Расмда температура режимлари ажратилган.

Кўринадики, режим диффузион ҳолда бўлиб, лекин жараён хоссалари (температурага боғлиқлиги) лимитловчи босқичга жавоб бერмайди ( $D_{\text{эф}}$  температурага кам боғлиқдир). Бу лимитловчи босқичнинг аниқловчи босқич деб аталиши доимо ҳам тўғри келмаслигини исботлайди.

Дона ўлчами. Кинетик областда (кичик ўлчамли дона  $R_0$ )  $W_k$  табиийки,  $R_0$  га боғлиқ бўлмайди. Ички диффузион зонада ( $R_0$  катга) (2.109) келиб чиқади,

$$W_k = \frac{1}{R_0} \sqrt{kD_{\text{эф}} C_0},$$

яъни,  $W_k$   $R_0$  га тескари пропорционалдир.  $W_k$  ( $1/R_0$ ) боғланиши 2.36, б-расмда кўрсатилган. Бу ерда жараён режимлари ажратилган.

### 2.5.3. Катализаторнинг ғовакмас донаси

Барча катализаторлар ҳам ғовакли структурага эга бўлавермайди. Агар реакция тез борса, ички юзани катталаштириш бефойдадир. Масалан, аммиакни оксидлаш сим кўринишдаги тўкилган тўр платина катизаторида боради. Тўла оксидлаш учун тўрнинг бир неча қавати старлидир. Ғоваксиз катализаторда реакция ташки юзада боради, бу ерда компонентлар атрофдан айланиб ўтувчи газ оқимларида таъсирлашади. Реагентлар чегара қаватдан қаттиқ жисм-катализатор юзасига кириши керак бўлади. Жараён схемаси «газ-қаттиқ» системаси сингаридир (2.4.2-бўлимга, «сикилувчи модел» га қаранг), бу ерда битта истисно бор бўлиб, қаттиқ жисм реакция масулотига айланмайди, жараёнда ўзгармай қолади, III боскич йўқолади. Гетероген жараёндаги «газ-қаттиқ» системада газ фаза-сидаги компонент айланишини ифодалаш старли бўлади.

Жараённинг математик модели:

$$\beta(C_{\text{ю}} - C_0) = w(C_{\text{ю}}). \quad (2.119)$$

Биринчи тартибли реакция учун дона юзасидаги концентрация куйидагичадир:

$$C_{\text{ю}} = C_0 / (1 + k/\beta).$$

Айланишнинг кузатилган тезлиги:

$$W_k = kC_0 / (1 + k/\beta)$$

Жараён шароитлари (концентрация, температура, оқимлар тезлиги), режимлар ва лимитловчи боскичлар – «сикилувчи сфера» жарасни сингаридир (2.24-расмга қаранг).

Бу ерда жараён ғоваксиз катализатор донасида кўрилган бўлсада, унинг ифодасини ғовакли катализаторга ҳам қўллаш мумкин, факат



(2.119) тенгламада айланишнинг кузатилган тезлигини қўллаш керак бўлади.

### 2.5.4. Иссиқлик ҳодисалари.

#### Стационар режимлар сони ва уларнинг барқарорлиги

Кимёвий реакциялар иссиқлик ютилиши ёки ажралиши билан борадилар, бунда температура градиентлари (фарқи) вужудга келиши мумкин бўлиб, бу айланиш тезлигига таъсир кўрсатиши мумкин.

Катализаторнинг ғовакли донаси. Модданинг кўчиши ва айланиши (2.104) тенглама билан ифодаланади:

$$D_{\text{эф}} \frac{d^2C}{dr^2} + w(C, T) = 0 \quad (2.120)$$

(бу ерда реакция тезлигининг концентрация  $C$  ва температура  $T$  га боғлиқлиги ҳисобга олинган).

Чегара шартлари:

$$r=0 \text{ да } dC/dr=0; \quad r=R_0 \text{ бўлганда } C=C_0. \quad (2.120 \text{ а})$$

Иссиқлик ажралиши донада температура градиентини келтириб чиқаради: дона бўйлаб иссиқлик кўчиши унинг иссиқлик ўтказиш коэффициентини  $\lambda_d$  билан аниқланади. Донадаги иссиқлик ҳодисалари (2.120) дагига ўхшашдир: иссиқлик оқимининг ўзгариши  $\lambda_d dT/dr$  реакцияда иссиқлик ажратиши  $Q_{pv}(C, T)$  билан боғлиқдир:

$$\lambda_d \frac{d^2T}{dr^2} + Q_{pv}(C, T) = 0 \quad (2.121)$$

Чегара шартлари ҳам (2.120 а) никига ўхшашдир:

$$r=0 \text{ бўлганда } dT/dr=0 \quad r=R_0 \text{ да эса } T=T_0. \quad (2.121 \text{ а})$$

Биттагина реакция учун  $w(C) = -r(C, T)$ . (2.120) ва (2.121) ларни куйидаги кўринишга келтираемиз:

$$D_{\text{эф}} \frac{d^2C}{dr^2} = r(C, T); \quad -\frac{\lambda_d}{Q_p} \frac{d^2T}{dr^2} = r(C, T).$$

Мазкур тенгламаларнинг ўнг томонлари тенг, шу боис

$$\frac{d^2T}{dr^2} = -\frac{Q_p D_{\text{эф}}}{\lambda_d} \frac{d^2C}{dr^2}.$$



Биринчи интеграллашдан кейин, (2.120 а) ва (2.121 а) ларнинг чегара шартларидан  $r=0$  бўлганда, оламиз:

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{Q_p D_{эф.}}{\lambda_A} \frac{dC}{dr}$$

Шартлардаги  $r=R_0$  бўлгандаги  $C$  ва  $T$  ларнинг шу пайтдаги кийматида иккинчи интеграллашдан оламиз

$$T - T_0 = Q_p D_{эф.} / \lambda_A (C_0 - C).$$

Айланиш даражаси  $x = (C_0 - C) / C_0$  га ўтамиз ва таъсирлашувчи аралашма иссиқлик сифими  $c_p$  га ўтамиз:

$$T - T_0 = -\frac{Q_p C_0}{c_p} \frac{D_{эф.} c_p}{\lambda_A} x \quad (2.122)$$

$Q_p C_0 / c_p$  параметр қуйидагини билдиради. Агар  $Q_p$  – бир моль модда айланишида ҳосил бўлувчи иссиқлик миқдори бўлса, унда  $Q_p C_0$  – реакцион аралашмадаги ҳажм бирлигида шу модданинг тўла айланишида ажралган иссиқлик миқдори. Модда миқдори бирлигини  $\Delta T$  га иситиш учун  $C_p \Delta T$  иссиқлик зарур бўлади. Агар аралашмани иситиш учун реакциянинг барча иссиқлиги ( $c_p \Delta T = Q_p C_0$ ) сарflanса, унда аралашма  $T = Q_p C_0 / c_p$  га исийди.

**Адиабатик иситиш**  $\Delta T_{ад} = Q_p C_0 / c_p$  реакция охиригача адиабатик ҳолатда борганда реакцион аралашма қанча градусга кўтарилишини кўрсатади.

$\Delta T_{ад}$  катталиги кимёвий жараённинг муҳим характеристикаси бўлиб, у анализ қилинганда бир неча бор учрайди. Характерли катталик ҳисобланувчи  $T_{ад}$  кўпгина саноат реакциялари учун бир неча юз градусларни ташкил этади.

Диффузиянинг эффектив коэффициенти  $D_{эф.} = \text{PD}_r$  юқорида топилган эди (2.101 тенгламага қаранг). Агар диффузиянинг ғоваклардан ўтиши кўринишини ҳисобга олсак, унда  $D$  ғовакларда диффузия  $V$  нинг молекуляр коэффициентидан кичиклиги кўринади [(2.103) тенглама].  $D_{эф.} = 0,1 D$  деб қабул қилайлик. Ғовакли катализаторнинг иссиқлик ўтказиши кўпгина илмий тадқиқотлардан  $\lambda_A \approx 10\lambda$  га тенглиги маълум бўлади, бу ерда  $\lambda$  – ғовакларни тўлдирувчи газ иссиқлик ўтказувчанлиги. Бундай натижа ғовакли катализатор структураси ёпишиб қолган микрозаррачаларнинг йириклаш-

ган кўринишидан иборатлигидадир. Контакт нуқталари катта қаршилиқ кўрсатади, газ қавати микрозаррачаларнинг контакт нуқталари тегадиган жойида иссиқлик ўтишига боғлиқлиги борлиги билинади. Бу ғовакли жисм иссиқлик ўтказиши, асосан, уни тўлдирувчи газ иссиқлик ўтказувчанлигига боғлиқлиги, материал иссиқлигига боғлиқлиги ва материал иссиқлик ўтказувчанлигига кам боғлиқлиги билан тушунтирилади.  $\pi/c_p = a$  нисбати температура ўтказувчанликдир; газлар учун  $a \approx D$ . Келтирилган маълумотлардан (2.122) тенгламадаги параметр  $D_{эф} c_p / \lambda_d = 0,01$  эканлиги маълум бўлади ва донадаги температура фарқи  $\Delta T = 0,01 T_{ад}$  х га тенглиги билинади. Максимал қизиш дона марказида ички диффузия ҳолатида рўй беради, бу ерда айланиш тўла амалга ошади ( $x=1$ ) ва бир неча градусдан ошмайди. Агар реакция эндотермик бўлса ( $Q_p < 0$  ва шу боис  $T_{ад} < 0$  бўлганда), унда дона марказида, табиийки, юзадагидан кам бўлади. Ўткинчи режимларда (дона марказида  $x < 1$ ) температура фарқи дона бўйлаб яна ҳам камдир.

Ғовакли катализатор донасидаги жараёни изотермик деб ҳисоблаш мумкин. Дона ичидаги кам қизишлиқ иссиқлик билан моддадаги кўчишнинг интенсивлиги турлича фарққа (икки тартибли) эгаллиги туфайлидир.

**Катализаторнинг ғоваксиз донаси.** Катализатор юзаси чегара қаватидан нафақат массанинг кўчиши, балки иссиқликни чиқариш (киритиш) ҳам амалга ошади. Дона юзаси билан оқим оралиғидаги иссиқлик алмашилиши коэффициентлари —  $\alpha_d$ , иссиқлик алмашилиш тезлиги —  $\alpha_d (T_{ю} - T_0)$ , бу ерда  $T_{ю}$ ,  $T_0$  оқимнинг юза ва ҳажмдаги тегишлича температуралари. Иссиқлик ажралиши юзада реакция бориши туфайли тенг бўлади —  $Q_p \Gamma (C_{ю}, T_{ю})$ . Стационар режимда (2.119) тенгламани иссиқлик ҳодисалари тенгламаси билан тўлдирамиз:

$$\alpha_d (T_{ю} - T_0) = Q_p \Gamma (C_{ю}, T_{ю}) \quad (2.123)$$

Юза билан оқим оралиғидаги масса ва иссиқлик алмашинув механизми бир хилдир: диффузия билан чегара қаватдан молекуляр масса кўчиши ўзаро яқинлиги билан характерланади. Шу боис  $d$  ва  $a$  ларни ҳисоблаш тенгламалари ўхшашдир.

Масса алмашилиш учун [(2/50 б) тенгламага қаранг:

$$Nu_D = A Re^n Sc^m;$$

иссиқлик алмашиниши учун

$$Nu_1 = A Re^n Pr^m.$$

Иккала формуладаги  $A$ ,  $n$ ,  $m$  коэффициентлар бир хилдир.  $Nu_D = \beta_d d_d / D$  ва  $Nu_T = a_d d_d / \lambda$  – Нуссельтнинг диффузион ва иссиқлик критерийлари ( $d_d$  – дона ўлчами).

$S_c = \nu / D$  ва  $Pr = \nu c_p / \lambda$  – Шмидт ва Прандтл ва критерийлари бўлиб, биринчисини Прандтлнинг диффузион критерийси деб юритадилар. Газлар учун  $S_c$  ва  $Pr$  лар бир-бирига яқин бўлиб, температура ўтказувчанлик  $a = \lambda / c_p$  ва диффузия коэффициентини  $D$  катталиклари ҳам яқиндир. Бу ерда  $Pr = S_c$  бўлганидан  $\beta_d = a_d / c_p$ .

Оддий реакция учун  $w(C_{ю}, T_{ю}) = -r(C_{ю}, T_{ю})$  ва (2.123) нинг (2.119) га нисбатидан  $\alpha_d (T_{ю} - T_0) = Q_p (C_0 - C_{ю})$  ни оламиз. Юзадаги айланиш даражаси  $x_{ю} = (C_0 - C_{ю}) / C_0$  ни киритамиз ва Тад иборасини ишлатиб ва  $\beta_d$  нинг  $\alpha_d$  га нисбатидан катализатор юзасидаги қизишни оламиз:

$$T_{ю} - T_0 = T_{ад} x_{ю}, \quad (2.124)$$

бу ўрнатилган айланиш даражаси  $x_{ю}$  нинг адиабатик қизишига тенгдир.

Биринчи тартибли реакция учун  $r(C, T) = k(T)C$  га тенг; юқорида олинган нисбатларни ҳисобга олган ҳолда (2.119) ва (2.123) тенгламаларни ўзгартирамиз:

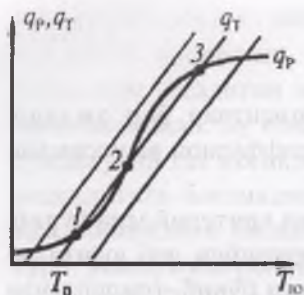
$$x_{ю} = k / \beta_d (1 - x_{ю}); T_{ю} - T_0 = \Delta T_{ад} k / \beta_d (1 - x_{ю}).$$

Мазкур системанинг биринчи тенгламасидан  $x_{ю} = 1 / (1 + k / \beta_d)$  ни оламиз ва иккинчисига қўямиз:

$$\frac{T_{ю} - T_0}{q_T} = \Delta T_{ад} \frac{k / \beta_d}{1 + k / \beta_d} \frac{1}{q_p} \quad (2.125)$$

Экспоненциал боғланиш  $k(T_{ю}) = k_0 \exp(-E / RT_{ю})$  (2.125) тенгламадан  $T_{ю}$  нинг аниқ катталигини олишга имкон бермайди. Юзадан олиб чиқарилувчи иссиқлик  $\alpha_d (T_{ю} - T_0)$  га тенг бўлиб, (2.125) тенгламанинг чап қисми  $\alpha_d$  коэффициент аниқлигигача иссиқлик чиқаришдан иборат, у билан белгилангандир. Ушбу тенгликнинг ўнг қисми шу коэффициент  $\alpha_d = \beta_d c_p$  аниқлигида – иссиқлик ажралиши  $q_p$  дир. 2.37-расмдаги  $q_T(T_{ю})$  ва  $q_p(T_{ю})$  эгри чизик графиклар учрашуви (2.125) тенгламанинг счими бўлади.





2.37-расм. Катализатор ташки юзасидаги жараёнда  $q_p(T_{ю})$  ва  $q_T(T_{ю})$  лар боғликлиги. 1,2,3 ларнинг кесиш нуқтаси – стационар режимлар.  $q_T(T_{ю})$  тўғри чизиклар – турли  $T_0$  лар учун.

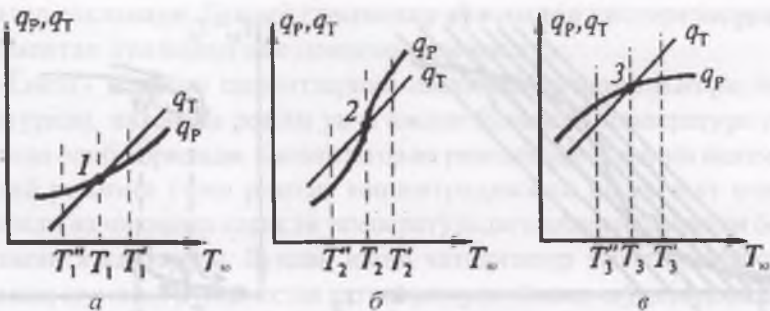
$q_p(T_{ю})$  боғланиш S-симон эгри чизикдир. Паст температурада  $k/\beta_d \ll 1$ ,  $q_p(T_{ю})$  сингари экспоненциал функция ҳисобланади. Юқори температурада, яъни  $k/\beta_d \gg 1$ ,  $q_p = \Delta T_{ад}$  бўлганда,  $q_p = \Delta T_{ад}$  бўлади ва  $T_{ю}$  га боғлиқ бўлмайди.  $q_T(T_{ю})$  графиги – тўғри чизикдир.

2.37-расмдан кўринадики,  $T_0$  нинг катталигига қараб туриб,  $q_T(T_{ю})$  ва  $q_p(T_{ю})$  битта ёки учта кесиш нуқтаси шунга асосан (2.125) тенгламанинг битта ёки учта счими бўлиши мумкин.

Учта счимнинг мавжудлиги жараёндаги бир хил шароитларда уч хил стационар режим бўлиши мумкинлигини кўрсатади, яъни стационар режимларнинг бир хил эмаслиги сезилади.

2.37-расмдан уч стационарлик режимдан биттасида юза температураси  $T_{ю}$  газ (2.37-расмдаги 1 нуқта). 3 режимда юзанинг исиши адиабатикка – юқори температураникига яқиндир. 2-ҳолат оралик ҳисобланади. Бу стационар ҳолатлардан қайси бирининг амалга ошуви жараён бошланишига боғлиқ бўлади. Агар бошида катализатор температураси газ температураси  $T_0$  никига яқин бўлса, унда куйи температурали режим 1 амалга ошади (2.37-расмга қаранг). Агар бошида катализатор қаттиқ кизитилган бўлса, унда юқори температурали 3-режим амалга ошади.

**Стационар режимлар барқарорлиги.** Жараённинг стационари режимдан ўзгарган ҳолатини кўриб чиқамиз. Шу мақсадда 2.38-расмда учта стационар ҳолат 2.37-расмнинг фрагментлари сифатида келтирилган. Жараён стационар режим 1 да бўлсин, дейлик (2.38-расм,  $a$  га қаранг). Юза температураси  $T_1$ . Агар қандайдир сабаблар туфайли юза температура  $T_1$  гача кўтарилса, унда иссиқлик ажралиш  $q_p$  ҳам ва иссиқлик олиб чиқиш ҳам кўпаяди, бу ерда сўнгги масала иссиқлик ажралишга қараганда юқорирок ўринда



2.38-расм. Стационар режимлар барқарорлигини аниқлаш.

бўлади. Агар кўзғолиш манбаи йўқотилган бўлса, унда иссиқлик олиб чиқилишининг кўплиги юза температурасининг пасайишига олиб келади, режим ўзидан-ўзи температура  $T_1$  бўлгандаги дастлабки ҳолатга қайтади. Агар юза температураси  $T_1$  гача пасайса, унда  $q_p$  дан юқори бўлади ва юза температура ўсади, аввалги  $T_1$  температура вужудга келади.

Шундай ҳолат юқори температурали стационар ҳолат 3 да ҳам қайтарилади (2.38, в-расмга қаранг).

Бундай стационар ҳолатлар барқарор дейилади ва буларда қуйидаги шарт бажарилади

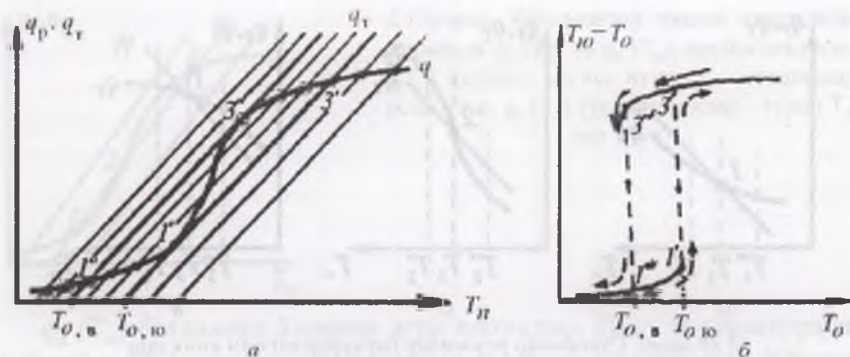
$$dq_p/dT_{\infty} < dq_T/dT_p. \quad (2.126)$$

Ўрта температурали режим 2 да (2.38, б-расмга қаранг) катализатор температурасининг  $T_2$  дан  $T_2'$  гача кўтарилиши иссиқлик ажралиши  $q_p$  ни иссиқликни олиб чиқиш  $q_T$  га караганда бир қадар кўпайтиради. Катализатор температураси юқори температурали стационар ҳолат ўрнатилгунга қадар кўтарилади. Илгариги ўрта температурали режим ўз-ўзидан қайтмайди. Температуранинг  $T_2'$  гача пасайиши катализаторнинг юқори температурали ҳолатигача совиб боришига олиб келади. Бу  $T_{\infty}$  нинг ихтиёрий кичик ўзгаришларида ҳам амалга ошаверади, дастлабки стационар режим ўз-ўзидан қайтмайди. Бундай режим бекарор дейилади. Унинг учун

$$dq_p/dT_{\infty} > dq_T/dT_p.$$

**Барқарор стационар ҳолат қуйидагича тавсифланади:** агар стационар ҳолат кўзғотилса ва кейин кўзғотиш манбаи олиб ташлан-





2.39-расм. Фоваксиз катализатор донасидаги ноизотермик жараённинг стационар режимлари.  $q_p, q_r, (T_n)$  (а) диаграммаси ва юза температураси  $T_{ю}$  нинг оқим температураси  $T_0$  (б) билан ўзгариши.

са (жараён шароитлари қайтарилса), унда дастлабки ҳолат ўзидан ўзи қайтарилади. *Беқарор стационар ҳолат* унга ўзгаришлар кiritилганда ўз-ўзидан қайтарилмайди.

Донадаги жараён ҳолати ўзгариши юза температураси  $T_{ю}$  (ёки юзанинг кизиши  $T_{ю}-T_0$ )нинг оқим температураси  $T_0$  нинг аста-секин кўтарилишини кузатамиз. Бир қатор кетма-кет стационар режимларни тўғри чизиклар серияси учрашишлари  $q_r$  билан  $T_0$  учун иссиқлик ажралиши эгри чизиклари  $q_p$  ёрдамида аниқлаш мумкин (2.39, а=расм).  $T_0$  ни аста-секин кўтариш  $T_{ю}$  нинг аста-секин кўтарилишига олиб келади – бу режимлар 2.39, а-расмда нуқталар билан ва буларга пастки эгри чизик (2.39, б-расм) мос келади.  $T_{0,ю}$  га эришилганда паст температурали режимлар амалдан тўхтайтиди (сўнгги режимни 1' билан белгилаймиз) ва юқори температурали режимлар томон сакраш юз беради, бу 3' ҳолатдан бошланади.

$T_{0,а}$  ни «ёниш температураси» деб атаймиз. 2.39, б-расмда  $T_{ю}$  йўналиши ўзгариши билан  $T_0$  нинг ортиши стрелкалар орқали кўрсатилган, стационар режимлар эса 2.39, а-расмда айланачалар билан белгиланган. Юқори температурали режимлар 3' ҳолатгача қайтарилдилар.  $T_0$  нинг камайиб бориши  $T_{0,п}$  гача юқори температурали режимлар саклайди, ундан кейин 3'' «ҳолатдан 1'' пойгадаги сингари сакраш орқали амалга ошади. Температура  $T_{0,к}$  ни «сўниш температураси» деб атаймиз. Кейин  $T_0$  кўтарилганда олинган ре-

жимлар сакланади. Бундай стационар режимлар гистерезиси экспериментал йўл билан ҳам олинганлиги маълум.

«Ёниш» жараёни шароитларини ишлатиш мумкин. Юкори температурали, интенсив режим унча юкори бўлмаган температура шароитида олиб борилади. Катализатор ва реагентлар оқимини иситмай бундай режимга ўтиш реагент концентрациясини киска вақт ичида оширади ва чиқишда керакли температурадаги концентрацияни белгиланганга қайтаради. Бундай ишни катализатор таблеткасида ҳам ўтказиш мумкин. Бунда актив катализаторда «ёкиш» қўшни доналарда амалга оша бошлайди. Таркалувчи тўлқин бутун қаватни иситади.

Катализаторнинг ташки юзасидаги жараён «газ-каттик» гетероген жараёнига ўхшаш экан, унда «ёниш» ва «ўчиш» жараёнлари бўлиб туради, режимлар гистерезиси амалга ошади. Бунга мисол қилиб каттик ёнувчи материалларни кўрсатиш мумкин.

## 2.6. КИМЁВИЙ РЕАКТОРДАГИ ЖАРАЁНЛАР

### 2.6.1. Кимёвий реактордаги жараённинг математик модели

Кимёвий реактордаги математик моделни тузишнинг умумий схемасига мос равишда реакцион зонадаги жараённи қараб чиқамиз (2.5-расмга қаранг). Жараён моделини тузиш кетма-кетлигини қуйидагича ифодалаш мумкин.

Реакцион зонадаги оқим макроструктурасини аниқлаш. Бу ижодий боскич бўлиб, прецизион ўлчовлар ва ақлий ёндашувни талаб қилади. Бу ерда оқимнинг оддий структурасини қараб, кимёвий реактордаги жараённинг дастлабки кўринишини аниқлашга ҳаракат қиламиз.

Юқорида аниқлангани сингари кимёвий жараён кетаётган элементар ҳажмни ажратиб оламиз. Ажратилган ҳажм реакцион зонада кўп марта қайтарилади, унда кимёвий жараён ўтиш қонуниятлари масштабига боғлиқ бўлмайди, жараён ўтиш шароитлари реактор масштабидаги оқимлар орқали вужудга келади.

Элементар ҳажм учун айланишнинг кузатилган тезлиги  $W_k(C, T)$  олиниши зарур бўладики, бу илгариги бўлимларда бажарилганди.

Элементар ҳажмлар орасидаги кўчиш ходисасини аниқлаб, жараён ўтиши учун уларда шароит яратилиши ва уларнинг ўзаро таъсири ўрганилади. Модель температура ва концентрациялар

тарқалишини олдиндан аниқлайди деб ҳисоблаймиз ва бу тегиш-  
лича дастлабки хом ашёнинг маҳсулотга айланишини билишимиз-  
га имкон беради.

Жараён структура ва схемаси ҳақида маълумотларга эга бўлиб,  
умумий кўринишдаги математик моделни тузиш керак:

$$dN/dt = \Sigma N_{\text{кир}} + \Sigma N_{\text{м}}; \quad (2.127)$$

$$dq/dt = \Sigma Q_{\text{кир}} + \Sigma Q_{\text{м}}. \quad (2.128)$$

Бу ерда  $dN/dt$  ва  $dq/dt$  – ажратилган элементар ҳажмдаги модда ва иссиқлик  
йиғилиши.

$N_{\text{кир}}$  ва  $Q_{\text{кир}}$  – материал ва иссиқлик оқимлари бўлиб, ажратилган  
ҳажмга кирадilar; кирувчи оқимлар конвектив (реагентлар оқими)  
ҳам, диффузион характерда ҳам бўлишлари мумкин.

$N$  манба ва  $Q$  манба – ажратилган ҳажм ичидаги модда ва  
иссиқлик манбалари. Модданинг манбаи бўлиб, кимёвий реакция,  
иссиқлик манбаи бўлиб кимёвий реакция ва фазали ўтишлар ҳамда  
айланишлар хизмат қилади.

(2.127) кўринишдаги тенгламалар жараёнда қатнашаётган бар-  
ча моддалар учун тузилади. Амалиётда уларнинг камроқ сонидан  
фойдаланиш мумкин, бунда модда ва таъсирлашувчи моддалар-  
нинг стехиметрик нисбатлари умумий массаси ҳисобга олиниши  
керак бўлади.

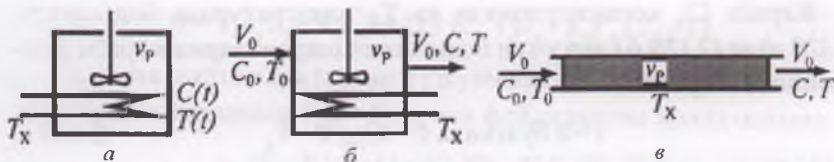
Кўп фазали жараёнлар учун (2.127) ва (2.128) тенгламалар ҳар  
бир фаза учун тузилади ва улар орасидаги иссиқлик ва масса алма-  
шинувни ҳисобга олади.

(2.127) ва (2.128) тенгламалар аниқ ечимга эга бўлиши учун,  
бошқача айтганда, ёпиқ бўлишлари учун уларни бошланғич ва че-  
гара шартлари билан тўлдириш зарур бўлади. Улар реакторда жара-  
ённи амалга ошириш шароитлари ва оқимларнинг ўрганилаётган  
соҳа чегараси – реакцион зона асосида тузилади.

Бундай вазифани амалга оширишни 2.1-расмда кўрсатилган  
реакторлардаги жараёнларнинг математик моделларида кўриб  
чиқамиз.

2.1-расмдаги 1-реактордаги даврий жараёнлар. Барча компонент-  
лар унга жойлаштирилади. Реакция интенсив аралаштиришда амал-  
га оширилади, бунда концентрация билан температуранинг





2.40-расм. Реакторлар схемаси: а – идеал аралашининг режимидаги даврий (ИА-д); б – идеал аралашининг окимлиги (узлуксиз) (ИФ-у); в – идеал сиқиб чиқарувчи (ИСЧ).

хар бир дақиқасида бутун ҳажм бўйлаб бир хил деб ҳисоблаш мумкин. Температураси  $T_x$  бўлган иссиқлик ташитгич билан иссиқлик алмашилиш мумкин бўлади. Иссиқлик алмашилиш юзаси  $F_T$  ва иссиқлик алмашилиш коэффициенти  $K_T$ . Бундай реактордаги жараён схемаси 2.40, а-расмда келтирилган.

Жараён-нестационар. Реакторда кирадиган ва чиқадиган окимлар йўқ ва  $\Sigma N_{\text{хир}} = 0$ . (2.127) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади (i-модда учун):

$$dN_i/dt = W_i(C, T) v_p$$

Реактордаги модда миқдори  $N_i = v_p C_i$ , ва олдинги тенглама куйидаги кўринишга ўтади (таъсирлашувчи аралашма ҳажми  $v_p$  га тенг бўлиб, ўзгармайди деб ҳисоблаймиз);

$$dC_i/dt = W_i(C, T) \quad (2.129 \text{ a})$$

Иссиқлик манбаи – кимёвий айланишда энтальпия ўзгириши (ягона реакция  $[\Sigma Q_m = Q_p r(C, T) v_p]$  учун) ва иссиқлик алмаштиргичдаги иссиқлик алмашинуви  $K_T F_T (T_x - T)$ . (2.128) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$dq/dt = Q_p r(C, T) \gamma_p + K_T F_T (T_x - T).$$

Реактордаги иссиқлик миқдорининг ўзгириши  $dq$  ундаги температура ўзгиришига боғлиқ бўлади:  $dq = c_p v_p dT$  (иссиқлик сифими  $c_p$  ни) ўзгармас деб қабул қиламиз). Иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси  $F_{\text{сол.}} = F_i / v_p$  ни аниқлаймиз ва оламиз:

$$dT/dt = Q_p r(C, T) - K_T F_{\text{сол.}} (T - T_x). \quad (2.129 \text{ б})$$

Жараён  $C_{i_0}$  концентрацияда ва  $T_0$  температурада бошланади. (2.129 а) ва (2.129 б) лар учун бошланғич шароитларни жараён бошланишида берамиз:

$$t=0 \text{ бўлганда } C=C_{i_0}, T=T_0 \quad (2.129 \text{ в})$$

Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламалар идеал аралаштириш режими (моделли) нинг даврийлиги – ИА-д-дейлади.

2, 3, 8 хилдаги реакторларда ва 12 реактор реакция зонасидаги жараёнлар (2.1 расм). Жараён схемаси 2.40 б-расмда кўрсатилган (2.1-расм). Жараён схемаси 2.40, б-расмда кўрсатилган. Интенсив равишда аралаштирилувчи бир фазани кўраемиз. Реактор оқимли хилда бўлиб, реакция узлуксиз давом этади. Вақт бирлигида  $V_0$  ҳажмли реагентлар оқими ва бу билан бирга миқдори  $v C_{i_0}$  бўлган ҳар бир компонент реакторга киради. Кираётганда оқим температураси  $T_0$  га тенг. Реакцион аралашма ҳажми ўзгармайди деб қабул қиламиз, реактордан температураси  $T$  бўлган  $V_0$  ли оқим ва ҳар бир компонент  $V_0 C_0$  чиқади. Бу ерда  $C_i, T$  – компонентлар концентрацияси ва реактордаги температура, чиқаётган оқимники ҳам шундай «Моддалар манбаи – кимёвий айланиш, яъни  $\sum N_i$ , манба  $=W_i(C, T)v_p$ . Жараён стационар ҳолатда боради:  $dN_i/dt=0$  ва  $d/dt=0$ . (2.127) тенгламаси куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0=V_0 C_{i_0} - V_0 C_i + W_i(C, T) v_p. \quad (2.130)$$

Реакциянинг шартли вақти бўлган ва номи унинг ўлчамидан келиб чиққан нисбат  $v_p/V_0=\tau$  ни аниқлаймиз (агар  $V_0$  [м<sup>3</sup>/с] ва  $v_p$ [м<sup>3</sup>] бўлса), унда  $\tau$  [с] бўлади. Бу ерда  $\tau$  – икки катталик нисбати ва физик моҳиятга эга бўлмайди. Ифода кўринишидан  $\tau$  оқимнинг ҳажмда бўлишининг ўртача вақтдаги аниқлиги бўлиб, одатда  $V_0$  ни нормал шароитда ўлчайдилар, реактордаги температура ва реакцион аралашма ҳажмда унда нормал шароитдагидан фарқланади. (2.130) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$(C_i - C_{i_0})/\tau = W_i(C, T). \quad (2.131 \text{ а})$$

Реактордаги иссиқлик манбаи-кимёвий айланиш  $Q_p(C, T)v_p$  ва иссиқлик алмашинув  $K_r F_r (T_x - T)$ . Реакцион аралашма иссиқлик сифими  $c_p$  жараёнда ўзгармайди. (2.128) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:



$$0 = V_0 c_p T_0 - V_0 c_p T + Q_p r(C, T) v_p + K_r F_r (T_x - T)$$

Реакция шартли вақтининг тушунчаси  $\tau$  ва иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси  $F_{\text{сол}} = F\tau/v_p$  дан фойдаланган ҳолда оламиз:

$$c_p (T - T_0)/\tau = Q_p r(C, T) - K_r F_r (T - T_x) \quad (2.131 \text{ б})$$

Бошланғич шароитлардаги концентрация  $C_0$  ва температура  $T_0$  (2.131 ва б) тенгламаларга киради. Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламаларни **идеал аралашмиш режими (модел) нинг узлуксизли** – ИА-у – дейилади.

2.1-расмдаги 4–7 ва 9–11 реактордаги жараёнлар узлуксиздир. Реактордан ўтувчи оқимнинг аралашмайдиган режимини кўриб чиқамиз. Кесим бўйича тезлик профили текисликда ётади. Буни четга чиқишлар масштаби реакцион зона масштабидан анча кичик бўлганда қабул қилиш мумкинки, мазкур ҳолат кўпгина реакторларда амалга ошади. Оқимнинг бундай режими поршенли ёки идеал сиқиб чиқариш, деб аталади.

Реакторни  $S$  кесимли трубка сифатида қабул қиламиз, ундан катталиги  $V_0$  бўлган оқим (2.40, в-расмга қаранг.) Оқим йўналиши бўйича координата – 1. Реакцион аралашма оқими ўта боришида кимёвий айланишлар туфайли компонентлар концентрациялари  $C_i$  ва умумий ҳолатда оқим температураси  $T$  ўзгаради. Бир вақтининг ўзида девор орқали иссиқлик ташитгич билан иссиқ алмашинуви мумкин. Бу ҳолда элементар ҳажм –  $dV$  қалинликдаги қисм ва  $dV = Sdl$  ҳажмга тенг бўлади. Унга оқим билан  $i$  компонент  $V_0 C_i$  миқдоридан киради ва  $V_0 (C_i + dC_i)$  миқдорда чиқади. Ажратилган ҳажмда модда манбаи – кимёвий айланиш  $\Sigma N$  манба,  $i = W_i(C, T) dv_p$  ҳисобланади. Жараён стационар ҳолда ётади ( $dN_i/dt = 0$ ), реакцион аралашма ҳажми ўзгармайди ва (2.127) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$0 = V_0 C_i - V_0 (C_i + dC_i) + W_i(C, T) dv_p.$$

Юқорида келтирилган  $\tau$  ифода ва тегишлича  $dt = dv_p/V_0$  дан фойдаланиб, куйидаги тенгламани оламиз:

$$dC_i/dt = W_i(C, T). \quad (2.132 \text{ а})$$

Реакторнинг бутун кссими  $u = V_0/S$  даги тезлик;  $l$  кесимгача реактор хажми  $v_p = lS$  ва реакциянинг шартли вақтини оқим тезлиги билан қуйидагича боғлаш мумкин:  $\tau = v_p/V_0 = l/u$ .

Иссиқлик тенгламаси (2.128) учун  $dq/dt = 0$  жараён стационар-дир;  $V_0 c_p T$  – элементар хажмга кирувчи иссиқлик оқими, ва  $V_0 c_p (T+dT)$  – ундан чиқадиган оқим:

$$Q_p r(C, T) dv_p + K_r dF_r(T_x - T)$$

иссиқлик манбаи (ажратилган хажмдаги ёки тоза  $dF_r$  да борувчи реакция ва алмашинуви). Кейин:

$$0 = V_0 c_p T - V_0 c_p (T + dT) + Q_p r(C, T) dv_p + K_r dF_r(T_x - T);$$

$dF_r/dv_p = F_{\text{сол}}$  – иссиқлик алмашинувининг солиштирма юзаси; диаметри  $D_{\text{тр}}$  бўлган трубка учун:

$$D_{\text{тр}} : F_{\text{сол}} = \pi D_{\text{тр}} l (0,25 \pi D_{\text{тр}}^2 l) = 4/D_{\text{тр}}.$$

Ўзгаришлардан сўнг оламиз:

$$c_p \frac{dT}{d\tau} = Q_p r(C, T) - K_r F_{\text{сол}} (T - T_x). \quad (2.132 \text{ б})$$

Икки дифференциал тенгламалар (2.132 а) ва 2.132 б) ни туташтириб шароитлар берилади, булар реакторга киришдаги концентрация  $C_{i0}$  ва температура  $T_0$  дир:

$$\tau = 0 \text{ бўлганда } C = C_{i0} \text{ ва } T = T_0. \quad (2.132 \text{ в})$$

Бундай жараён ва уни ифодаловчи тенгламалар *идеал сиқиб чиқариш режими* (модели) – ИСЧ дейилади.

**Реактордаги икки фазадаги оқим жараёни.** Математик модель жараённинг ҳар бир фазаси ифодасини ўз ичига олади. Моделни тузиш илгариги берилганга ўхшаб ўтказилади, фақат фазалар орасидаги масса ва иссиқлик алмашинувлар қўшилади. Улар моддалар манбалари ва фазадаги иссиқлик сифатида, масалан, ифодалар сифатида берилиши мумкин.

$$\beta S_{\text{сол}} (C_2 - C_1); \quad (2.133 \text{ а})$$

$$\alpha S_{\text{сол}} (T_2 - T_1), \quad (2.133 \text{ б})$$

бу ерда  $\alpha, \beta$  фазалараро алмашинув коэффициентлари;  $S_{\text{сол}}$  – фазалар контакти юзаси, бу фазалар хажм бирлигида олинади;  $C_1, C_2$  контактлашувчи фазалардаги концентрациялар;  $T_2, T_1$  – шу фазалар температуралари.

Ифодалардан биринчисининг турли агрегат ҳолатлардаги фазалар системасида қўлланилишига, масалан, «газ-суюқлик»ка аҳамият берамиз. Турли фазалардаги компонент концентрацияларини ҳисоблаш тўғри бўлмайди – уларда ўлчамлар ҳар хилдир: [моль/м<sup>3</sup> газ] ва [моль/м<sup>3</sup> суюқлик]. Газ фазада концентрация ўрнига унинг келтирилган катталиги  $C_i = K_A P_i$ , бу ерда  $K_A$  – абсорбция константаси,  $P_i$  эса – компонентнинг парциал босими (2.4.3 бўлимга қаранг). Бир фазада кирувчи компонентлар ва бошқаси билан таъсирланувчилар учун (2.133 а) дагидан бошқа ифодани ҳам айланишнинг кузатилган тезлигига қўллайдилар. Энди (2.129 а, б, в) ва 2.132 а, б, в) тенгламалар билан ифодаланувчи жараёнларни кўрамиз. Булар реактордаги жараён хоссалари ҳақида маълумотлар бериши керак. Бундай моделларни баъзан «идеал реакторлар» деб атайдилар. Шунга қарамай бундай моделлар кўпгина реал саноат реакторлар кўрсаткичларини олдиндан билиб олишга имкон бермоқда.

## 2.6.2. Кимёвий реакторлар ва уларнинг математик моделлари классификацияси

Тузилиши ва таркиби бўйича мураккаб ҳисобланган реакторлар бир неча белгиларига қараб классификацияланади. Мана шу ўқув курси доирасига кирувчи кимёвий реакторларда ўтувчи жараёнларни ўрганиш билангина чекланамиз.

Кимёвий реакторлар классификацияси

А. Материал оқимларни ташкил этиш:

1. Материал оқимларни ташкил этиш:

Реагентлар фазалари миқдори: бир фазали  
кўп фазали

2. Оқимларнинг реактор орқали ҳаракати:

оқар  
оқмас  
ярим оқар

3. Реакцион зонадаги оқимлар ҳаракат режими идеал сиқиб чиқариш:

идеал аралаштириш  
ноидеал

Б. Иссиқлик окимини ташкил этиш:

1. Реактордаги иссиқлик режими:

изотермик  
адиабатик  
иссиқлик билан  
алмашинув автотермик

2. Иссиқлик алмашинув усули:

реакцион зонада  
реакцион зонадан  
ташқарида

Реакторда борувчи кимёвий жараёнлар ўтиш шароитлари умуман олганда реагентлар ҳаракатини (материал окимларга) ва реакторда иссиқлик режимини ташкил қилиш (иссиқлик окимларини) билан боғлиқдир.

Кимёвий жараён типи, турли фазавий ҳолатлардаги окимлар контактнинг зарурати реакторларни бир ва кўп фазалиларга ажратишни тақозо этади. Идеал аралашуш ва сиқиб чиқаришдаги олинган математик моделлар ҳам реактордаги жараён характерига окимлар ҳаракати таъсири ҳар хиллигини тасдиқлайди. Умуман олганда юқорида айтилган икки режим (оқар ва оқмас схемалар) дан бошқа оқмас режим ҳам бўлиши мумкин – бунда компонентларнинг бир қисми жараён бошида, иккинчи қисми эса реакторга жараён давомида солинади. Окимларнинг икки хили ҳам юқорида айтилди (аралашуш ва сиқиб чиқариш). Реал шароитларда улардан четга чиқиш – оким ҳаракатининг ноидеаллиги туфайли рўй бериши мумкин.

Иссиқлик режимини ташкил этишда иссиқлик режимининг ўзини ва иссиқлик алмашинув усулини ажратиб оламиз. Адиабатик режимда реакциянинг барча иссиқлиги реакцион аралашма-ни иситишга (ёки совитишга) сарфланади. Иссиқлик алмашинув режимида четдаги иссиқлик ташитгичга узатилади. Изотермик режимда температура бутун реактор бўйлаб бир хил сақланади. Бундай режим сунъийдек кўринсада, у реактордаги жараённинг кўпгина хоссаларини тушунишда муҳим ўрин тутди. «Ички иссиқлик алмашинув» автотермик реактор ажратилган. Бунда



жараён ташки иссиқлик ташитгичсиз боради. Унда оқим ҳаракати туфайли оқимнинг турли қисмлари орасида иссиқлик алмашинуви амалга ошади (реактор кирувчи ва ундан чикувчи орасида). Иссиқлик алмашинувининг турли усуллари орасидан иккитаси: реакция зонада иссиқлик алмашиниш юзаси орқали (бир вақтнинг ўзида реакция ҳам амалга ошадиган) – бу 2.1-расмдаги 1,9,10 реакторлардаги каби ва кўп қаватли реактор 11 даги оралик иссиқлик алмашинуви (2.1 -расмдаги) усулини қўллаш билан борадиганлари ажратилади, бу реакция зона ва иссиқлик алмашиниш зонаси ажратилган ҳолатдир. Кимёвий реактордаги жараённи чуқур ўрганиш керак бўлганда (масалан, конструкциялаш ва ҳоказоларда) тўғри келиши мумкинлигини эслатиб ўтамыз.

**Математик моделлар классификацияси олинган тенгламалар типни бўйича ўтказилади.**

Кимёвий реакторлардаги жараённинг математик моделларини тузишда оқимнинг икки тури – идеал аралаштириш ва сиқиб чиқариш қаралганди. Реактантларнинг реактор орқали ўтишидаги ҳаракатини ташкил қилишнинг икки усули – оқар ва окмас схема-ларда кўрилиб, урта математик модел ажратилган:

ИА-д $dC/dt = W(C)$ (a)	ИА-у $(C - C_0)/\tau = W(C)$ (b)	ИС-ч $dC/dt = W(C)$ (c)
----------------------------	-------------------------------------	----------------------------

(бу ерда тенгламалар фақат бир компонент учун ёзилган).

Реакторлардаги жараёнларни ифодаловчи математик моделлар миқдори реакторларникидан анча камлиги билан характерланади. Бу реакторларнинг турли типлардаги умумий хоссаларини топиш ва умумлаштиришга имкон беради. Реактордаги жараёнлар хоссаларини уларнинг математик моделларидан топамиз, яъни тенгламалар хоссаларини ўрганамиз ва уларни реактор хоссаларига ўтказамиз. Агар (2.134) тенгламага диққат қилсак, унда даврий идеал аралаштириш (a) ва идеал сиқиб чиқариш (c) реакторларидаги тенгламалар математик жиҳатдан бир хиллиги кўринади. Табиийки, бу моделларнинг хоссалари ҳам бир хилдир. Лекин улар томонидан ифодаланаётган жараёнлар принципиал ҳар хил даврий ностационар ва узлуксиз стационарлар. Моделлари бир хил хоссали



реакторлардаги жараёнларнинг хоссалари ҳар хиллиги модел хоссаларини жараён хоссаларига интерпретацияланганда фаркланиши аниқланган.

Шундай қилиб, кўрилатган кимёвий реакторларнинг хилма-хиллиги бир мунча чекланган математик моделларнинг хоссаларини ўрганишга мўлжалланади [мазкур ҳолда фақат иккитаси дифференциал тенгламалар (2/234 а) алгебраик тенгламалар (2.134 с)] ёки алгебраик тенгламалар (2.134 в).

### 2.6.3. Кимёвий реактордаги жараёнлар таҳлили

**Кимёвий реактордаги жараён таҳлили** – жараён шароитлари ва характеристикалари (хоссалари) таркибий қисмларининг реактор иши кўрсаткичларига таъсири ҳамда жараён ва режимнинг ўзига ҳослик томонларини тадқиқ қилишдир.

**Жараён шароитлари** – дастлабки реакцион аралашма таркиби (реагентларнинг бошланғич концентрациялари), кираётган оқим катталиги (реактор юкмаси), кирувчи оқимлар температураси, хладагент (иссиқлик олиб чиқиладиган жараён учун) ёки реактордаги температура (изотермик жараён учун).

**Жараён таркиблари хоссалари** – кимёвий жараён характеристикалари: айланиш схемаси ва реакциялар тип (кинетик тенгламалар кўриниши), активланиш энергияси, иссиқлик эффекти; ноизотермик жараёнлар учун – иссиқликни олиб чиқиш параметрлари (иссиқлик узатиш коэффицентлари, иссиқлик алмашилиш юзаси, реактантларнинг иссиқлик-физикавий хоссалари).

**Жараён кўрсаткичлари** – айланиш даражаси  $x$ , селективлик  $S$ , маҳсулот чиқиши  $E$  ҳамда реактордаги концентрациялар, айланиш даражаси ва температура профиллари, буларнинг вақт бўйлаб ўзгаришлари. Ушбу кўрсаткичларни билиб, кейин бошқа кўрсаткичлар – реакторнинг конструктив параметрлари, энергетик сарфлар, иқтисодий характеристикалар ва бошқаларни аниқлаш мумкин бўлади.

**Жараён ва режимнинг ўзига хос хусусиятлари** – жараён хоссалари ва шароитларнинг кўрсаткичлари таъсири, жараённи бошқариш (кутилган кўрсаткичларга эришиш учун хоссалар ва ша-

ронтирларни ўзгартириш), критик режимлар (масалан, уларнинг мавжуд бўлиши, беқарорлик).

Жараёни таҳлил қилиш учун математик моделлаштириш усулидан фойдаланамиз. Кимёвий реакторда жараён таҳлилида куйидаги кетма-кетликни қўллаш мумкин.

1. Жараён математик моделини асослаш ва тузиш. Юқорида кўрсатилганидек, битта математик модель турли реактордаги жараёнларни ифодалаш мумкин.

Математик модел тенгламасини кейинги тадқиқотларга мослаб ўзгартириш;

Таҳлилга тегишли боғланишларнинг математик модел тенгламасини ечиш. Кейин аналитик ечим олиш қулай бўлган моделлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бу уларни сифатлаш, таҳлил қилишга имкон яратади, тенгламаларнинг асосий хоссаларини аниқлашга ёрдам беради. Баъзан тенгламаларни ечишнинг график усулидан ҳам фойдаланиш мумкин бўлади. Амалиётда ҳисобли экспериментдан кенгроқ фойдаланилади.

Умумий таҳлил учун қулай бўлган ва тенгламаларни ечишдаги натижаларни график кўринишдаги ҳолда бериш.

Тадқиқ қилинаётган жараёнга интерпретациялаш, яъни тенгламалар ўзгарувчилари ва коэффицентлари, жараён физик характеристикалари ва параметрлари орасидаги боғланишларни тенгламалар (моделлар) хоссаларини реакторга ўтказишга кераклигини ажратиш.

Жараён ва моделнинг ҳақиқий таҳлили, бунда математик модел хоссаларини тенгламалар параметрларини ўзгартириш билан ечимга ўтиш ва модел хоссаларини реактордаги жараёнга кўчириш.

Турли типдаги реактордаги жараёнларни солиштириш.

Жараённинг кейинги таҳлили – математик модел тенгламаларининг ўзига хос томонларини топиш ва бу орқали режимларни ўрнатиш.

Кимёвий реакторлардаги жараёнларни таҳлил қилишда уларнинг мураккаблашиб боришларига аҳамият берилади, жараёнда сони кўпайиб борувчи ходисалар ҳисобга олинади. Аввалига изо-

термик жараёнлар, ксйин иссиқлик кўчиши билан борадиган жараёнлар кўрилади (ноизотермиклар).

## 2.7. КИМЁВИЙ РЕАКТОРДАГИ ИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН

### 2.7.1. Даврий идеал аралашиш ва идеал сиқиб чиқариш режимлари

Даврий идеал аралашиш ва сиқиб чиқариш режимларида ишлайдиган реакторлардаги жараёнлар (ИА-д ва ИСЧ) қуйидаги тенгламалар билан ифодаланади:

ИА-д	ИСЧ
$dc/dt = W(C)$	$dC/dt = W(C)$
$t=0$ да $C=C_0$	$\tau=0$ да $C=C_0$

Математик жиҳатдан бу икки тенглама ўхшашдир. Улар фарқи мустақил ўзгарувчи ҳисобланмиш  $t$  ёки  $\tau$  лардир. Физик жиҳатдан бу ўзгарувчилар принципиал жиҳатдан турличадир: астрономик вақт,  $\tau = l/v$  – чизиқли катталиқ ҳисобланган реактор узунлиги пропорционал бўлган ўзгарувчан катталиқдир. Моделни таҳлил қилаётганимиз сабабли бундан буён қуйидаги кўринишдаги тенгламадан фойдаланамиз:

$$dC/d\tau = W(C); \tau=0 \text{ да } C=C_0, \quad (2.135),$$

бунда  $\tau = t$ ,  $t$  ни жараён моделига боғлиқ деб ҳисоблаймиз. Таҳлилни турли типдаги реакциялар ўтиш ҳолатларига мослаб ўтказамиз.

**Оддий қайтмас реакция  $A=R$ .** Айланиш тезлиги  $W(C)$  биринчи тартибли реакция учун

$$W(C) = -kC, \quad (2.136)$$

ёки айланиш даражасига ўтиб, ёзамиз,

$$W(C) = -kC_0(1-x). \quad (2.136 \text{ а})$$

(2.126) ни (2.135)га қўямиз.

$$dC/d\tau = -kC; \tau=0 \text{ бўлганда } C=C_0. \quad (2.137)$$

(2.137) тенгламадаги  $C$  ва  $\tau$  ўзгарувчан миқдорларга бўлинади (ажралади). Бу тенгламани интеграллаймиз:

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = k \int_0^{\tau} d\tau, \quad \text{ёки} \quad \ln C/C_0 = -k\tau.$$

Ечимни иккита боғланиш кўринишида ифодалаймиз:

$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}; \quad C = C_0 e^{-k\tau}. \quad (2.138)$$

Агар айланиш даражаси  $x$  ни ишлатсак, унда (2.135) тенглама куйидаги кўринишга ўтади

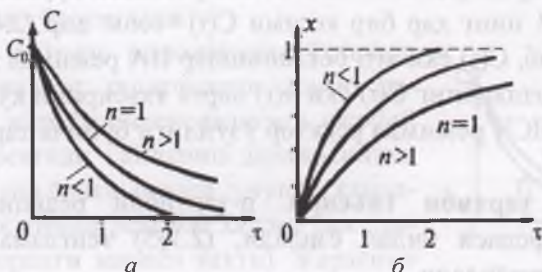
$$dx/d\tau = k(1-x); \quad \tau=0 \text{ да } x=0 \quad (2.139)$$

ва унинг ечими куйидагича бўлади.

$$\tau = \frac{1}{k} \ln \frac{1}{1-x} \quad \text{ва} \quad x = 1 - e^{-k\tau}. \quad (2.140)$$

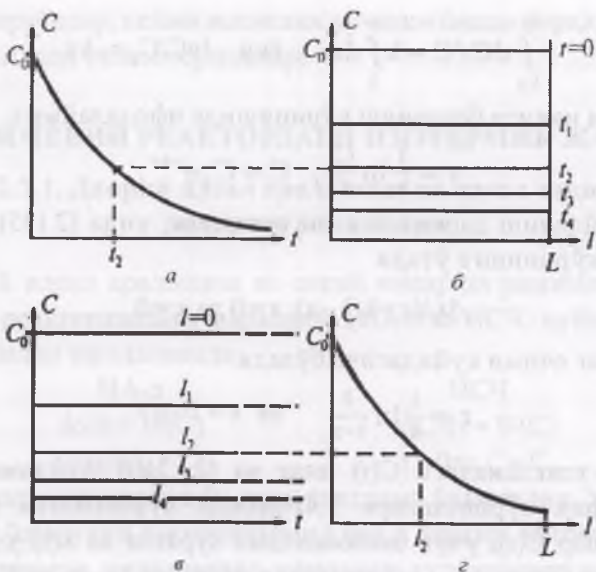
(2.138) тенгламадаги  $C(\tau)$  нинг ва (2.140) тенгламадаги  $x(\tau)$  нинг график кўринишлари 2.41-расмда кўрсатилган ( $n=1$ ). Бу боғланишлар  $C(\tau)$ , учун экспоненциал суратда ва  $x(\tau)$  учун унинг кўзгудаги кўриниши – асимптотик равишда  $\tau \rightarrow \infty$  да  $C=0$  га ёки  $x=1$  га тегишлича интилади. Қайтмас реакция учун дастлабки мода аста-секин ўзининг тўла айланишига сарфланиб боради.

(2.138) тенгламаси ечими интерпретацияси (2.137) нинг математик модели тенгламаси идеал араланиш ва идеал сиқиб чиқариш жараёнлари учун куйидагича бўлади. ИС-д жараёни ностационар ўтади,  $\tau \equiv t$  бўлиб, вақт  $t$  ўтиши билан дастлабки мода  $C$  нинг концентрацияси 2.42, а-расмдагидек (2.138) тенгламаси боғланишида камайиб боради. Лекин вақтнинг ҳар бир momentiда реакторнинг барча нукталарида концентрация бир хил бўлади. Агар



2.41-расм.  $C(\tau)$  (а) ва  $x(\tau)$  (б) нинг турли тартибли  $n$  оддий қайтмас реакциялар билан боғлиқлиги.





2.42-расм. Концентрация  $C$  нинг вақт  $t$  (а, б) билан ва реактор узунлиги  $l$  (б, г) билан даврий идеал аралашуш (а, б) реакторида ва оддий оқимли идеал сиқиб чиқариш реакторида (в, г) ўзгариши.

реактор ҳажми ичида ихтиёрини чизикли ўлчам  $l$  ни олсак, унда вақтнинг турли лаҳзаларидаги боғланишлар  $C$  (1) 2.42, б-расмда кўрсатилганидек кўринишга эга бўлади – буларнинг ҳар бирида  $C(l) = \text{const}$  дир. ИСЧ режимида жараён стационар ҳолатда ўтади.  $C$  нинг концентрацияси реактор узунлиги  $l$  бўйича ўзгаради, бу  $\tau$  ( $l = v\tau$ ) га пропорционалиги 2.42.2-расмдан кўринади. Лекин реактордаги  $l$  нинг ҳар бир кесими  $C(\tau) = \text{const}$  дир (2.42, в-расм). Шундай қилиб,  $C(\tau)$  ёки  $x(\tau)$  боғланишлар ИА режимида вақт ичида жараён шароитларнинг  $C(\tau)$  ёки  $x(\tau)$  ларга таъсирини кўрсатади ва  $C$  ва  $X$  нинг ИСЧ режимида реактор узунлиги бўйича тарқалишини билдиради.

**Реакция тартиби таъсири.**  $n$ -тартибли реакция тезлиги  $W(C) = kC^n$  ифодаси билан ёзилади, (2.135) тенглама қуйидаги кўринишга ўтказилади.

$$dC/d\tau = -kC^n \text{ ёки } dx/d\tau = kC_0^{n-1}(1-x)^n. \quad (2.141)$$



(2.141) тенгламадаги  $C$  ва  $\tau$  ўзгарувчиларга бўлинадиган ва интеграллашдан кейин оламиз:

$$\frac{1}{n-1}(C^{1-n} - C_0^{1-n}) = -k\tau; \quad \frac{1}{1-n}[1 - (1-x)^{1-n}] = kC_0^{n-1}\tau \quad (2.142)$$

(2.142) тенгламадан  $C(\tau)$  боғланишни оламиз:

$$C = [C_0^{1-n} - (1-n)k\tau]^{1/(1-n)} \quad (2.143)$$

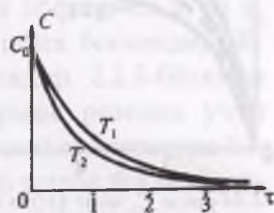
(2.143) тенгламадан  $\tau$  ортуви билан концентрация  $C$  сарфланади. Тегишлича,  $x = (C_0 - C) / C_0$  ўсади.  $n < 1$  ва  $n > 2$  учун  $C(\tau)$  нинг ўзгариши турлича бўлади. Агар  $n < 1$  бўлса, унда (2.143) тенгламадан реакция охиригача бориши кўринади, яъни  $\tau = C_0 \cdot 1 - t / k(1 - t)$  нинг сўнгги қийматида  $C = 0$  (ёки  $x = 1$ ) га эга бўламиз.  $\tau$   $1$  бўлгандаги ҳолат учун (2.143) тенгламани қуйидаги кўринишга ўтказамиз.

$$C = 1/[C_0^{1-n} + (n-1)k\tau]^{1/(n-1)}$$

бундан  $\tau \rightarrow \infty$  бўлганда  $C \rightarrow 0$  бўлади, яъни  $\tau$  ортуви билан концентрация  $C$  асимптомик равишда биринчи тартибли реакция учун нолга интилади. Тегишлича боғланишлар  $C(\tau)$  ва  $x(\tau)$   $n < 1$  ва  $n > 1$  лар учун 2.41-расмда кўрсатилган.

**Температура таъсири.** (2.137) ёки (2.141) моделида фақат тезлик константаси  $k$  температура  $T$  га боғлиқ бўлади:  $k = k_0 \exp(-E/RT)$  нисбатдан у температура билан катталашади. Жараён юқори температурада ўтказилганида реакция тезлиги юқори бўлишини ўйлаш табиийдир ва концентрация  $C$  вақт бўйлаб ( $\tau$ ) тезроқ камаяди. Ҳақиқатан  $C(\tau)$  (2.138) ва (2.143) боғланишларда кузатиш мумкин:  $\tau$  нинг бир миқдоридан ва  $k$  кўпайганда, яъни юқорида температурада  $C$  камаяди.  $C(\tau)$  боғланишнинг жараёнда  $T_1$  дан  $T_2$  гача ўзгариши 2.43-расмда кўрсатилган.

Оддий қайтмас реакциянинг ўтишида температуранинг оширилиши доимо реактордаги жараён интенсивлигига ижобий таъсир кўрсатади – айланиш даражасининг берилган меъёрига етиши учун  $\tau$  камаяди (оқар режимда реактор ҳажми ёки даврий реактордаги жараён вақти). Жараённи иложи борида максимал температурада ўтказиш мақсадга мувофиқдир.



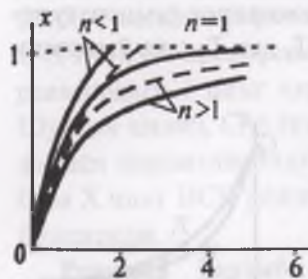
2.43-расм. Температура  $T$  нинг  $C(\tau)$  ( $T_2 > T_1$ ) га боғлиқлиги.

Бошланғич концентрация  $C_0$  нинг реактордаги жараёнға таъсирини икки кўрсаткич буйича баҳолаймиз. Буларнинг бири – жараён интенсивлиги, яъни реакторда айланишга берилаётган модданинг миқдори. Реакция тезлиги концентрация кўпайиши билан ортади ( $r = kC^n$  кўринишидаги – бу ерда қаралаётган кинетик тенгламалар учун).  $C$  (ва  $C_0$ ) ортиши билан айланаётган модда миқдори, жараён интенсивлиги ортиб боради.

Таъсир этувчи иккинчи кўрсаткич  $C_0$  – аниқ юкламада айланиш даражасининг реакторга таъсир этадиган ўзгаришидир. Концентрация ортиши билан реакция тезлиги кўпаяди, яна айланиши керак бўлган модда миқдори ҳам ортади. (2.140) тенгламадан биринчи тартибли реакция жараёни  $x(t)$  боғланишга таъсир этмаслиги кўринади. Агар реакция биринчи тартибли бўлмаса, реакторда бошланғич концентрация айланиш даражасига таъсир кўрсатмайди, бу 2.44-расмда ўз аксини топган. Б ҳолда  $C_0$  жараён модели (2.141) га коэффициент сифатида  $k C_0^{n-1}$  киради. Агар  $n > 1$  бўлса, унда  $C_0$  нинг  $x(t)$  га таъсири температура  $T$  ники сингари бўлади:  $C_0$  ҳам,  $T$  ҳам (яъни  $k$ )  $t$  нинг камайишга (белгиланган  $t$  да реактордаги айланиш даражасининг ошувига) олиб келади.  $n > 1$  бўлганда реакция тезлиги айланаётган модда миқдоридан тезроқ ўсади.

Агар  $n < 1$  бўлса, унда  $C_0$  нинг таъсири температураникига тескари бўлади: реактордаги айланиш тўхтаётган бошлайди (реакция тезлиги концентрация ўсуви билан реакция аралашмадаги модда миқдорига қараганда камроқ ўсади).

**Оддий қайтар реакция  $A \rightleftharpoons R$ . Реакция тезлиги**



$$r(C) = k_1 C_A - k_2 C_R$$

Икки реагент концентрациясига боғлиқ бўлиб, умумий ҳолатда жараённи ифодалаш учун (2.135)га ўхшаш икки тенгламадан – ҳар икки реагент учун фойдаланилади. Битта ўзгарувчи билан –  $A$  реагентнинг айланиш даражаси  $x$  ни олган ҳолда ишлаш қулайроқ ҳисобланади, бунда  $C_A = C_0(1-x)$ ;  $C_R = C_0 x$  ( $C_0$  –  $A$  нинг бошланғич концентрацияси). Жараён модели қуйидагича бўлади.

2.44-расм.  $C_0$  нинг  $x(t)$ га  $n$  тартибли реакция учун таъсири. Узлуксиз чизик  $C_{01}$ да, пунктир –  $C_{02} > C_{01}$  бўлганда.

$$dx/dr = k_1(1-x) - k_2x; \tau=0 \text{ бўлганда } x=0 \quad (2.144)$$

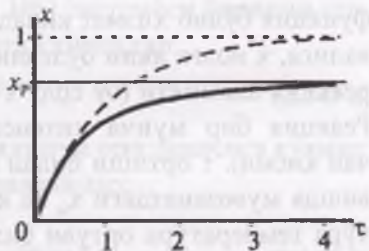
$dx/d\tau = k_1 - (k_1 + k_2)x$  кўринишга ўтиб, мазкур тенгламани интеграллаймиз:

$$-\frac{\ln[k_1 - (k_1 + k_2)x] - \ln k_1}{k_1 + k_2} = \tau$$

ёки

$$x = \frac{k_1}{k_1 + k_2} [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.145)$$

$\tau$  ортиши билан айланиш даражаси, табиийки, ортади ва  $\tau \rightarrow \infty$  да (2.145) тенгламадан оламиз:  $x \rightarrow k_1 / (k_1 + k_2)$ . 2.2.2 ва 2.2.3 бўлимлардан қайтар реакция  $K_m = k_1/k_2$  учун мувозанат константаси ва айланишнинг мувозанатдаги даражаси  $x_m = K_m / (1 + K_m)$ . Бундан  $x$  нинг реакторда эришадиган тўла қиймати  $x_m$  га тенг бўлади. Реакция мувозанатгача ўтиши табиий.  $x(\tau)$  боғланиш 2.45-расмда келтирилган. Бу ерда солиштириш учун пунктир билан қайтар реакция учун  $x(\tau)$  боғланиши келтирилган.



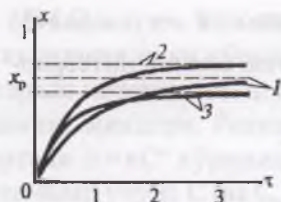
2.45-расм. Оддий қайтар реакция учун айланиш даражаси  $x$  нинг  $\tau$  га боғлиқлиги (пунктир – қайтмас реакция учун).

Кўрилатган реакция тўғри ва тескари йўналишда биринчи тартибга эга ва бошланғич концентрация айланиш даражасига таъсир кўрсатмайди.

**Температура таъсири.** Унга константалар  $k_1$  ва  $k_2$  лар боғлиқ бўлиб, буларнинг ҳар бири температура билан ортади. Константаларнинг ўзгариши реакция тезлигига турлича таъсир этади:  $k_1$  тезликни оширади,  $k_2$  эса камайтиради. Йиғинди эффект эса  $k_1$  ва  $k_2$  ларнинг температура билан интенсив ўзгаришига боғлиқдир. Бу экзо- ва эндотермик реакциялар учун ҳар хилдир. 2.2.3-бўлимда  $Q_m = E_2 - E_1$  (2.40 тенгламага қаранг). Экзотермик реакция учун ( $Q_m > 0$ ,  $E_2 > E_1$ ) ва  $k_2$  (тескари реакция тезлиги ҳам) температура билан  $k_1$  га қараганда (тўғри реакция тезлиги ҳам) тезроқ ўсади. Экзотермик реакция учун бу нисбат тескари бўлади:  $x_m$  камаяди.

Қайтар реакция учун  $x(\tau)$  боғланиши ўзгариши  $T$  га қараб куйидагича талкин қилинади.



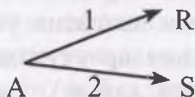


2.46-расм.  $T_1$  (1) ва  $T_2 > T_1$  (2,3) температураларда  $x(\tau)$  нинг боғланиши. Реакциялар: эндотермик (2) ва экзотермик (3). Пунктир –  $x_m$  нинг мазкур шаронглар учун айланишининг мувозанат даражалари.

Боғланиш  $x(\tau)$   $x=0$  ( $\tau=0$  да) дан  $x_m$  гача бир хил ўсиб боровчи функция бўлиб хизмат қилади ( $\tau \rightarrow \infty$  ҳолатда). Т ортиши билан аввалига,  $x$  нолга яқин бўлганида реакция тезлиги ортади – тескари реакция аҳамияти (бу ерда  $x \approx 0$ ) деярли ҳисобга олинмаса бўлади. Реакция бир мунча интенсив боради (2.46-расмда графикнинг чап қисми).  $\tau$  ортиши билан айланиш даражаси  $x$  асимптотик равишда мувозанатдаги  $x_m$  га яқинлашади. Ле-Шателье принципига кўра температура ортуви билан эндотермик реакцияда мувозанат маҳсулот ҳосил бўлиш томонига сурилади, яъни  $x_m$  ўсади. Эндотермик реакция интенсивроқ ўтади – бу 2.46-расмдаги 2 эгри чизиғидан кўринади.

Бу ҳолатда  $k_1$  температура ортуви билан  $k_2$  га қараганда тезроқ ўсади ва тўғри реакция айланишининг умумий тезлигига ҳиссаси  $x$  нинг барчаларида ошганлиги кўринади. Экзотермик реакция учун температуранинг мувозанатга таъсири тескаридир: бунда  $x_m$  камаяди. Реактордаги  $T$  нинг ортуви билан интенсив боровчи жараён, кейин ўз интенсивлигини пасайтиради – бу 2.46-расмдаги 3 эгри чизикдан кўринади. Бу ҳолда  $k_2$  температура билан  $k_1$  га қараганда кўпроқ ўсди ва тескари реакциянинг айланишининг умумий тезлигидаги ҳиссаси  $x_m$  га яқин бўлганда кўпайди.

### Мураккаб реакция, айланишнинг параллел схемаси



Иккала реакция биринчи тартибли. Бундай реакция компонентлари  $A$ ,  $R$  ва  $S$  лар (2.38) тенгламага биноан куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$W_A = -k_1 C_A - k_2 C_A = -(k_1 + k_2) C_A; W_R = k_1 C_A; W_S = k_2 C_A.$$

Метаматик жихатдан жараён куйидаги тенгламалар билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} dC_A/d\tau &= -(k_1 + k_2)C_A; \\ dC_R/d\tau &= k_1C_A; \\ dC_S/d\tau &= k_2C_A. \end{aligned} \right\} \quad (2.146)$$

$\tau = 0$  бўлганда  $C_A = C_0$ ,  $C_R = C_S = 0$  (2.146) системаси биринчи тенгламасининг ечими (2.135) тенгламасига ўхшашдир:

$$C_A = C_0 e^{-(k_1 + k_2)\tau}. \quad (2.147 \text{ a})$$

(2.147a) ни (2.146) системасининг иккинчи тенгламасига қўямиз:  $dC_R/d\tau = k_1 C_0 \exp[-(k_1 + k_2)\tau]$ , уни интеграллаймиз:

$$C_R = \frac{k_1}{k_1 + k_2} C_0 [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.147 \text{ б})$$

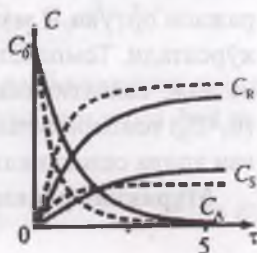
Шунга ўхшаш  $C_S$  учун оламиз:

$$C_S = \frac{k_2}{k_1 + k_2} C_0 [1 - e^{-(k_1 + k_2)\tau}]. \quad (2.147 \text{ в})$$

Реагентлар концентрацияларининг  $\tau$  га боғлиқлиги 2.47-расмда кўрсатилган. Иккала хусусий реакциялар биринчи тартибли.  $S'_R$  нинг дифференциал селективлиги  $R$  маҳсулоти бўйича  $C_A$  нинг концентрациясига боғлиқ эмас ва тенг  $S'_R = k_1/(k_1 + k_2)$ . Бунда  $n_1 = n_2 = 1$  ва  $n_1 = n_2$  (2.47-тенглама ва 2.48 а-расмга қаранг) чизикдир. Шу боис интеграл танланганлик.

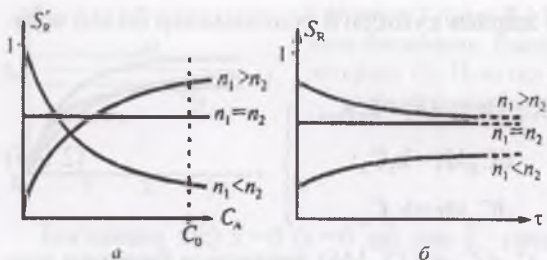
$$S_R = C_R / (C_R + C_S) = k_1 / (k_1 + k_2)$$

$C_A$  га боғлиқ бўлмайди, жараён ўтиши билан ўзгармайди ( $\tau$  ортиши билан). Бу 2.48, б-расмда  $n_1 = n_2$  чизиги билан кўрсатилган.



2.47-расм. ИСЧ реакторида мураккаб параллел реакцияда реагентлар концентрациясининг ўзгириши. Узлуксиз чизиклар –  $T_1$  температурада, пунктирдагилар –  $T_2 > T_1$  ва  $E_1 > E_2$  бўлганда.





2.48-расм. Дифференциал селективлик  $S_R'$  нинг параллел реакцияларда концентрация  $C_A$  (а) ва интеграл селективлик  $S_R$  нинг  $\tau$  (б) га ИСЧ реакторида (ёки ИА-ю) хусусий реакциялар  $n_1$  ва  $n_2$  ларнинг турли нисбатларидаги боғлиқлиги.

2.48, а-расмда  $S_R'$  нинг  $C_A$  га қараб ўзгариши хусусий реакциялар  $n_1$  ва  $n_2$  ларнинг турли нисбатларида берилган. Реактордаги дастлабки компонент А нинг  $C_A$  концентрацияси  $C_0$  дан бошлаб камаяди. Реактордаги жараённинг боришида  $\tau$  нинг ортиши ва  $C_A$  нинг камайиши билан интеграл селективлик ўрта интеграл катталик  $S_R'$  сифатида ўзгаради, бу 2.48, б-расмда кўрсатилганидек,  $C_0$  ва  $C_A$  нинг мазкур қиймати оралиғида бўлади.

Реактордаги температура ортуви билан жараён, табиийки, интенсивлашади. R ва S маҳсулотларининг интенсив суръатда ҳосил бўлиши хусусий реакцияларнинг активланиш энергиялари бўлган  $E_1$  ва  $E_2$  ларнинг нисбатларига боғлиқ бўлади. 2.47-расмда пунктир чизик билан температура оширилганда концентрациялар профиллари  $C(\tau)$  ва  $E_1 > E_2$  шартида ўзгариши кўрсатилган. Бу ҳолда  $C_R$  ва  $C_S$  концентрациялари нисбати R нинг фойдасига бўлади.

Мана шу натижалардан амалий хулосалар ҳам келиб чиқади. Реакциялар тартиби тенг бўлганда параллел айланиш схемаси ( $n_1 = n_2$ ) реакторлар эришиладиган айланиш даражаси жараён селективлигига таъсир этмайди. Агар ( $n_1 > n_2$ ) бўлса, унда айланишнинг юкори даражасига эришиш R маҳсулоти бўйича селективликнинг камайиши боис ижобий эмасдир. Агар  $n_1 < n_2$  бўлса, унда айланишнинг даражаси ортуви R маҳсулоти бўйича селективликка ижобий таъсир кўрсатади. Температуранинг ортиши  $E_1 > E_2$  бўлганда интенсивликка ҳам, селективликка ҳам ижобий таъсир кўрсатади. Акс ҳолда ( $E_1 < E_2$ ) температуранинг пасаюви интенсивликка салбий таъсир этган ҳолда селективликни оширади.

**Мураккаб реакция, айланишнинг кетма-кет схемаси:**



Иккала хусусий реакция биринчи тартибли ва жараён математик жихатдан тенгламалар системаси билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} dC_A/d\tau &= -k_1 C_A; \\ dC_R/d\tau &= k_1 C_A - k_2 C_R; \\ dC_S/d\tau &= k_2 C_R; \end{aligned} \right\} \quad (2.148)$$

$\tau = 0$  бўлганда

$$C_A = C_0, C_R = C_S = 0$$

(2.148) системадаги биринчи тенгламанинг ечими илгари олинганди:

$$C_A = C_0 e^{-k_1 \tau} \quad (2.149)$$

(2.149) ни иккинчи тенгламага қўямиз:

$$dC_R/d\tau = k_1 C_0 e^{-k_1 \tau} - k_2 C_R. \quad (2.149 \text{ а})$$

Бу ўнг қисми куйидаги кўринишга эга чизикли дифференциал тенгламадир:

$$y' + P(x)y = Q(x),$$

унинг умумий ечими маълумотнома адабиётларида мавжуд:

$$y = e^{-\int P(x)dx} \left[ \int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx + A \right],$$

бу ерда  $A$  – интеграллаш константаси.

(2.149 а) тенглама учун:

$$P(x) \equiv k_2; Q(x) = k_1 C_0 e^{-k_1 \tau};$$

$$e^{-\int P(x)dx} \equiv e^{-\int k_2 d\tau} = e^{-k_2 \tau};$$

$$\int Q(x) e^{\int P(x)dx} dx \equiv \int k_1 C_0 e^{-k_1 \tau} e^{k_2 \tau} d\tau = \frac{k_1}{k_1 - k_2} C_0 e^{(k_2 - k_1)\tau}$$

Ушбу ифодаларни умумий ечимга қўйиб ва бошланғич шарт  $C_R(0) = 0$  дан интеграллаш константаси  $A$  ни аниқлаш учун фойдаланган ҳолда оламиз:

$$C_R = -\frac{k_1}{k_1 - k_2} C_0 \left[ e^{-k_1 \tau} - e^{-k_2 \tau} \right]. \quad (2.149 \text{ б})$$

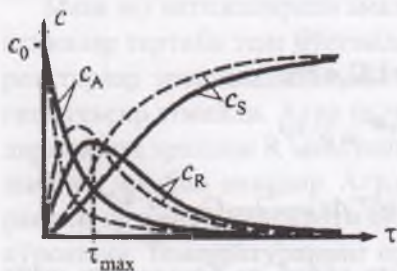
(2.149 б) ни (2.148) системасининг учинчи тенгламасига қўямиз ва интеграллаймиз:

$$C_S = C_0 \left[ 1 - \frac{k_2 \exp(-k_1 \tau) - k_1 \exp(-k_2 \tau)}{k_2 - k_1} \right]. \quad (2.149 \text{ в})$$

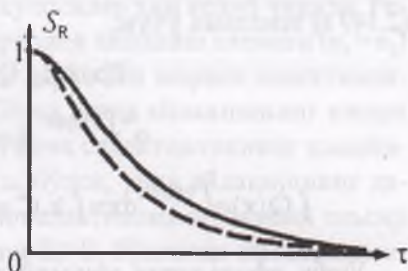
(2.149 а-б) нинг боғланишлари график кўринишда 2.49-расмда кўрсатилган. Жараёнда А компонент сарфланади, унинг концентрацияси  $C_A$  камаяди.  $C_R$  нинг концентрацияси аввалига ўсади – R интенсив равишда А дан ҳосил бўлади.

Реакция ўта бориши билан  $C_A$  ва R нинг ҳосил бўлиши камаяди. Бир вақтнинг ўзида R нинг йиғилиши унинг кейинги айланишини тезлаштиради. Қандайдир моментларда ( $\tau_{\max}$  га қаранг, 2.49-расм) R нинг ҳосил бўлиш ва сарфланиш тезлиги тенглашади ва кейин R асосан S нинг ҳосил бўлишига кетади – бунда  $C_R$  концентрацияси максимумдан ўтиб, камаяди. S нинг ҳосил бўлиш тезлиги аввалига камроқ – S бўлувчи R компоненти ҳамдир. Кейин S нинг ҳосил бўлиш интенсивлиги ўсади ва охирида битта сўнгги маҳсулот S қолади. Оралиқ маҳсулот R бўйича интеграл селективлик айланиш чуқурлашуви билан камаяди (2.50-расм).

Температура ортуви билан барча жараёнлар интенсив ўтади. Агар бунда биринчи хусусий реакция тезлиги иккинчи ( $E_1 > E_2$ ) никига қараганда тезроқ ўсса, R нинг максимум чиқишига ( $C_R$  концентрацияси) олдинроқ эришилади, балки катталиги бўйича ҳам



2.49-расм. ИСЧ реактори ёки (ИА-д) реакторида кетма-кет реакция ўтишидаги реагентлар концентрацияларининг ўзгариши. Узлуксиз чизиклар –  $T_1$  температурада, пунктирда –  $T_2 > T_1$  ва  $E_1 > E_2$  бўлганда.



2.50-расм. Интеграл селективлик  $S_R$  τ га боғлиқлиги (кетма-кет реакцияда). Узлуксиз чизик –  $T_1$  температурада, пунктир –  $T_2 > T_1$  ва  $E_1 > E_2$  бўлганда.

юкори бўлади. Жараён селективлиги ҳам юкори бўлади. Бу 2.49 ва 2.50-расмда пунктирда кўрсатилгандир. Бу ерда  $E_1 > E_2$  бўлса, температура ни ошириш мақсадга мувофиқ, бунда интенсивлик ва  $R$  нинг чиқиши ва селективлик ортади. Сўнгги маҳсулотни ( $S$ ) ошириш учун эса умумий айланишни ошириш мақсадга мувофиқдир.

### 2.7.2. Оқар реакторда идеал аралашуш режими

Идеал аралашуш оқар реакторидagi изотермик жараён куйидаги тенглама билан ифодаланади (2.131 а).

$$(C - C_0)/\tau = W(C) \quad (2.150)$$

**Одий қайтмас реакция  $A \rightarrow R$ .** Биринчи тартибли реакция  $W(C) = -kC$  ўтганда (2.150) тенглама куйидаги кўринишга ўтади.

$$(C_0 - C)/\tau = kC \quad (2.151 а)$$

ёки айланиш даражаси  $x = (C_0 - C)/C_0$  га ўтилганида,

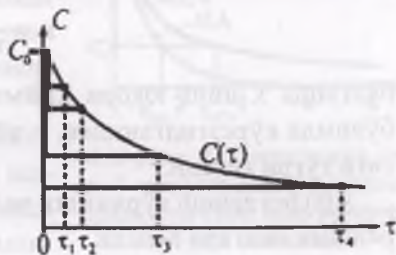
$$x/\tau = k(1 - x). \quad (2.151 б)$$

(2.151 а, б) тенгламаларни ечиб, реактордаги концентрация ва айланиш даражасини топамиз:

$$C = C_0(1 - k\tau); \quad x = k\tau/(1 - k\tau). \quad (2.152)$$

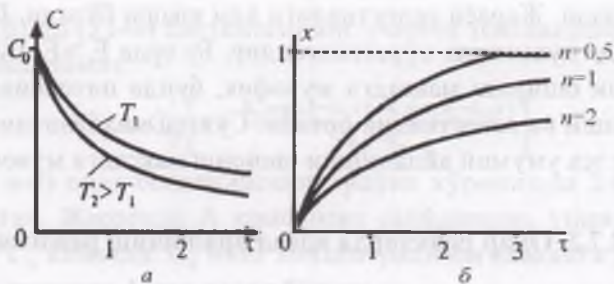
(2.150) тенгламанинг  $C$  га нисбатан биринчи тартибли бўлмаган реакция учун (нафақат  $n=0,5$  ёки 2 бўлганда) аналитик ечими чеклангандир.  $\tau = W(C)/(C - C_0)$  ни аниқлаш кулайроқ ҳисобланади.

Олинган ечимни интерпретация қиламиз. Идеал аралашуш оқар реакторида  $\tau = v_m/V_0$  – мазкур реактор учун белгиланган катталик реагентларнинг концентрацияси унинг барча нукталарида бир хил ва  $C$  га тенг, киришда эса –  $C_0$  дир. Бу киришда концентрация  $C_0$  дан  $C$



2.51-расм. Концентрация  $C$  нинг идеал аралашуш оқар реакторда турли  $\tau$  ларда тарқалиши.





2.52-расм.  $C(\tau)$  нинг  $T_1$  ва  $T_2 > T_1$  (а) ва  $x(\tau)$  (б) температураларда турли  $n$  тартибли реакцияларда ва идеал аралашув реакторидаги боғлиқлиги.

сакрашни англатади ( $C_0$  дан  $C$  га ўтиш амалда кичик бўлганлигидан уни ҳисобга олмаса ҳам бўлади). Бундай кўринишда концентрацияларнинг  $C-\tau$  координатларида бўлиниши пиллапоясимон чизикдир. 2.51-расмда шундай боғланиш турли катталикларда берилган, яъни турли ҳажмдаги  $v_p$  ёки битта реакторда турли юклама  $V_0$  да келтирилгандир. Синик чизикларнинг охири нуқталарини бириктириб, 2.51-расмда кўрсатилганидек, (2.152) нинг график ифодаси сифатида  $C(\tau)$  нинг эгри чизигини оламит [ёки 2.150 умумий ҳолатда]. Шунинг учун  $C(\tau)$  боғланишни турли реакторлар режимлари йиғмаси сифатида кўрсатиш, лекин идеал сиқиб чиқариш ёки даврий реактордаги сингари битта концентрация ўзгаришидек деб олиб бўлмайди.

Мисол сифатида 2.52, а-расмда температура таъсири, 2.52, б-расмда реакция тартибининг  $C(\tau)$  боғланишга таъсири кўрсатилган.

**Одий қайтар реакция**  $A \leftrightarrow R$  (2.150) жараённинг модели айланиш даражаси қўлланилганда куйидаги кўринишга эга бўлади

$$x/\tau = k(1-x) - k_2x,$$

ёки

$$x = \frac{k_1\tau}{1+(k_1+k_2)\tau} \quad (2.153)$$

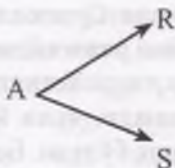
бўлганда  $x$  нинг юкори қиймати тенг бўлади.  $x = k_1/(k_1+k_2)$  2.7.1 бўлимда кўрсатилганидек, у айланишнинг мувозанатдаги даражасига тўғри келади.

$x(\tau)$  боғланиш кўриниши ва унга температуранинг таъсири ИСЧ режими сингари бўлади.



## Мураккаб реакциялар

Жараён ифодаси ва модел тенгламаси ечимини келтирамиз (биринчи тартибли хусусий реакциялар). Ай л а н и ш н и н г п а р а л л е л с х е м а с и:



$$\begin{cases} (C_0 - C_A)/\tau = -(k_1 + k_2)C_A \\ C_R/\tau = k_1 C_A \\ C_S/\tau = k_2 C_A \end{cases} \quad \left| \quad \begin{cases} C_A = C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \\ C_R = k_1 \tau C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \\ C_S = k_2 \tau C_0/[1 + (k_1 + k_2)\tau] \end{cases}$$

**Айланишнинг кетма-кет схемаси**  $A \rightarrow R \rightarrow S$

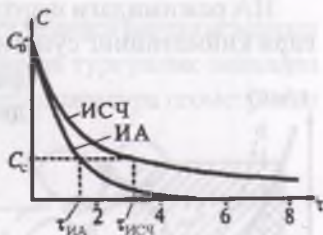
$$\begin{cases} (C_0 - C_A)/\tau = -k_1 C_A \\ C_R/\tau = k_1 C_A - k_2 C_R \\ C_S/\tau = k_2 C_R \end{cases} \quad \left| \quad \begin{cases} C_A = C_0/(1 + k_1 \tau) \\ C_R = k_1 \tau C_0/[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)] \\ C_S = k_1 k_2 \tau^2 C_0/[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)] \end{cases}$$

$C(\tau)$  боғланишнинг сифат характери, унга температуранинг таъсири ҳамда  $\tau$  нинг ўзгариши билан селективликнинг ўзгариши идеал сиқиб чиқаришни сингари бўлади (2.47–2.50-расмларга қаранг). Бунга ўқувчимизнинг ўзи иқдор бўлиши таклиф этилади.

### 2.7.3. Узлуксиз жараёнларда идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқаришни солиштириш

Оқар реакторларни идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш режимларида таққослаймиз.  $C(\tau)$  ва  $x(\tau)$  боғланишларни сифат характери ҳамда жараён параметрларининг уларга таъсири мос келади. Кўрсатилган жараёнларни миқдорий таққослаймиз.

Буларнинг инсентивлиги бўйича таққослаймиз: қайси режимда ўзга шароитлар тенглигида айланиш даражаси бир хиллигига реактор ҳажми камли-



2.53-расм.  $C(\tau)$ нинг идеал сиқиб чиқариш (ИСЧ) ва идеал аралашуш (ИА) оқар реакторларидаги боғланиши.

гида эришилади ( $V_0, C_0, T$ ). 2.53-расмда бир хил масштабда  $C(\tau)$  боғланиш ИА-у ва ИСЧ режимларида биринчи тартибли реакция учун тезлик константаси  $k=1$  бўлади.

Графиклардан бир хил айланиш даражасига эришиш учун ёки бир хил сўнгги концентрация  $C_0$  идеал сиқиб чиқариш режимида  $\tau$  ИСЧ идеал сиқиб чиқариш режимидаги  $\tau$  ИА катталиқдан кичиклиги кўринади, яъни  $\tau_{ИСЧ} < \tau_{ИА}$ . Тегишлича реакторлар ҳажмлари ҳам шундай нисбатда олинади, яъни ИСЧ режимида жараён ИА режимидагидан интенсивроқ бўлади. Бошқа реакцияларда ҳам мазкур натижаларни тасдиқлаш учун (2.135) ва (2.150) жараёнларнинг математик моделларини график усулда ечамиз. Буларни тегишли куйидаги кўринишда ифодалаймиз.

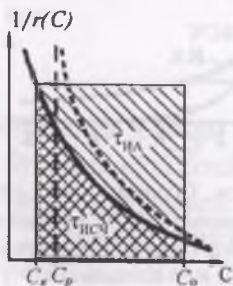
$$\tau_{ИСЧ} = \int_{C_c}^{C_0} \frac{dC}{r(C)} \quad (2.154 \text{ a}) \quad \text{ва} \quad \tau_{ИСЧ} = \frac{C_0 - C_T}{r(C_T)} \quad (2.154 \text{ б})$$

Бу ерда  $W(C) = -r(C)$  дан фойдаланилган.

Реакция тезлигининг тесқари кўриниши  $1/r$  концентрация  $C$  бўйича 2.54-расмда эгик эгри чизиғи билан берилган.  $r(C)$  кўпинча концентрация  $C$  билан монотонда ўсиб борувчи функциялиги боис, камаювчи функция ҳисобланади.  $C \rightarrow 0, r(C) \rightarrow \infty$  бўлганда  $r^{-1}(C)$  қайтар реакция учун  $r^{-1}(C) \rightarrow \infty$  бўлади  $C \rightarrow C_m$  да, бу 2.54-расмда пунктирда кўрсатилган.

Эгри чизиқ майдони интегралланган функция  $r^{-1}(C)$   $C_c$  ва  $C_0$  оралиғида бу функциянинг интегралига тенг бўлади,  $\tau_{ИСЧ}$  га тенг – (2.154 а) тенгламага қаранг ва 2.54-расмдаги тегишли штрихланган майдончага қаранг.

ИА режимидаги шартли вақт  $\tau_{ИА}$  реакция тезлиги катталиги тесқари қийматининг сўнгги концентрация  $r^{-1}(C_0)$  ва концентрациялар фарқи  $C_0 - C_c$  ларнинг кўпайтмасига тенгдир.  $C - r^{-1}$  координаталарида бу кўпайтма



2.54-расм. Реакция тезлиги тесқари катталигининг концентрация  $C$  га боғлиқлиги ва идеал аралашуш ( $\tau_{ИА}$ ) ва идеал сиқиб чиқариш ( $\tau_{ИСЧ}$ ) реакторлардаги шартли вақтини аниқлаш. Пунктир чизиғи – қайтар реакция –  $1/r(C)$  учун.

томонлари  $C_0 - C_k$  ва  $r'(C_k)$  бўлган тўғри тўртбурчак майдонни бўлиб, бу 2.54-расмда кўрсатилган.

Камаювчи барча боғланишлар учун  $\tau^{-1}(C)$  доимо  $\tau_{ИСЧ} < \tau_{ИА}$  дир. исч ва ИА ларни сон жиҳатдан солиштиришни биринчи тартибли реакция ўтганида қуйида келтирилган маълумотлардан фойдаланиб амалга ошириш мумкин (к<sub>т</sub> нинг қиймати келтирилган бўлиб, жараён моделида бу параметрни доимо ажратиш мумкин бўлади):

x .....	0,05	0,1	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95	0,99
$k\tau_{ИСЧ}$ .....	0,051	0,105	0,22	0,69	1,61	2,3	3,0	4,6
$k_{ИА}$ .....	0,053	0,111	0,25	1,00	4,00	9,0	19	99

Келтирилган маълумотлардан  $x < 0,1$  бўлганда идеал аралашуш ва сиқиб чиқариш режимидаги жараёнлар интенсивлиги бир хиллиги кўринади (фарқ 5% дан кам).  $x$  катталашуви билан фарқ тез ўсади.

$x = 0,9$  бўлганда ИСЧ режими ИА га караганда 4 барабар юкоридир ва  $x = 0,99$  га етганда 20 барабардан ортиқдир.

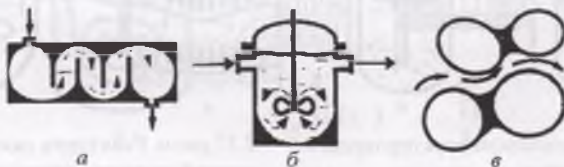
Тегишлича реакторлар ҳажмлари ҳам фарқланади. Реакторларни нафақат интенсивлик бўйича, балки жараён селективлиги бўйича ҳам солиштирадilar.

## 2.7.4. Реакторлардаги нондеал режимлар

Идеал режим-аралашуш ва сиқиб чиқаришни ташкил этиш амалда анча қийинчилик туғдиради. Реал ҳаётда идеал режимдан четга чиқишлар бўлиб турадики, бунинг ўз сабаблари бор.

**Идеал режимдан четга чиқиш сабаблари.** Буларга қуйидагилар киради.

Турғунлик зоналари реакция зона конфигурацияси барча қисмларда бир хил бўлмаганда вужудга келади. 2.55-расмда турғунлик зоналари кўрсатилган (булар штрихланган) бўлиб, улар аппаратура геометрияси



2.55-расм. Реакторларда турғунлик зоналари ҳосил бўлиш вариантлари (кораланган, а, б) ва донатор каватда (в).

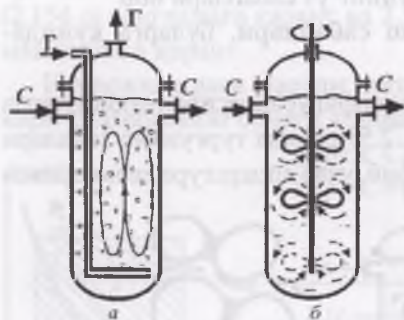


(шакл-шамойили) билан боғлиқ (а, б) ва донатор каватда вужудга келади (в). Буларда реакцияга кирувчи аралашма ушланиб қолади, модданинг асосий ҳажм билан (иссиқлик билан ҳам) алмашинуви чекланган, айланиш бу шароитда ўзга шароитларда амалга ошади.

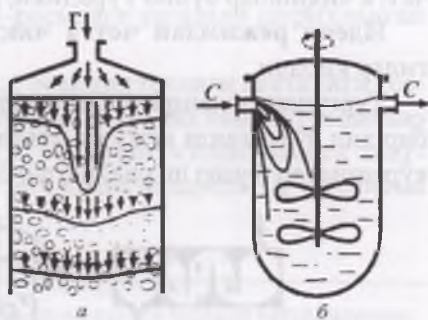
Бу умумий айланишга таъсир этиши ва ҳатто аварияларга олиб келиши мумкин. Каталитик жараёнларда 2.55, *a*-расмда кўрсатилганидек, турғун зоналарда каталитик комплекслар йиғилиб қолади. Нордон оксидловчи муҳит вужудга келиб, реактор девори кимёвий коррозияга учрайди, деворлар дарз кетиб, аварияларга олиб келувчи ҳодисалар бўлиб туради.

**Циркуляцион оқимлар** аралаштирилувчи реакторларда охириги интенсив аралашув ҳисобига вужудга келади. Бу колоннали барботаж аппаратларида баландлик  $H$  нинг диаметр  $D_{an}$  га нисбати учдан юкори бўлганда кўринади ( $H/D_{an} > 3$ ). (2.56, *a*-расм). Газнинг кўтарилувчи пуфакчалари суюқликнинг бирмунча юкори циркуляциясини ва аралашувини таъминалайди.  $H/D_{an} \approx 1$  бўлганда ҳажмий реакторларда деярли идеал аралашув амалга ошади, лекин колоннали аппаратларда (буларда одатда  $H/D_{an} = 5 \div 6$  га тенг бўлади) циркуляция вақти реакция ўтиш вақтига тенглашади ва идеал аралашув моделини қўллаш жараёни ифодалаш учун асос бўлолмайди.

Бир неча циркуляцион зоналарнинг вужудга келиши ҳам эҳтимолдан холи эмас, масалан, бу кўп пиллапояли аралаштиргичга эга колоннали аппаратда амалга ошуви мумкин (2.56, *б*-расм).



2.56-расм. Колоннали реакторлардаги циркуляцион оқимлар.

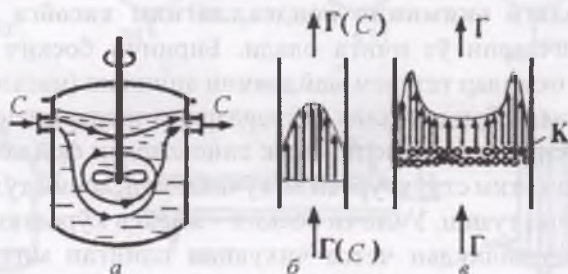


2.57-расм. Реакторга оқим киришида унинг бир жинсли тарқалмаслиги донатор каватда (а) ва аралаштирилувчи суюқлик реакторида (б) кўриниши.

Оқим таркалувининг бир жинсли эмаслиги одатда реакторга кираётган реакция аралашма шароитларининг ҳар хиллиги билан тушунтирилади. Мисол 2.57, *а*-расмда кўрсатилган реакторга кираётган реакция аралашманинг донатор қаватга (катализаторга) эғалиги. Кириш патрубкисида, газ йўлидаги сингари, оқим тезлиги 10–20 м/с, реакторда эса кўпинча 1 м/с атрофидадир. Кирувчи сочманинг динамик босими оқимни донатор қаватга ҳайдайди.» Газ тезлиги қават чеккасида кичикдир. Фақат донатор қаватнинг биров ичкари-сида оқим кесим бўйлаб таркалади. 2.57, *б*-расмда кўрсатилганидек, ҳатто интенсив аралаштирувчи реакторда ҳам киритилаётган реакция аралашма унинг масаласи билан тезгина аралашиб кетмайди. Агар реакция бир мунча интенсив бўлсада, аралашиб зонасида эса у ҳажмдагига қараганда ўзгачароқ ўтади. Масалан, бу апатитнинг реакторда кислотадаги парчаланишида амалга ошуви мумкин.

Бундай жараёнда кислота концентрациясини саклаб туриш талаб қилинади, нормадан ошиб кетганда кальций сульфатнинг чўкишини кўпайтириб юборади. Ҳар хил воқеалар олди олинмаса (чўкма юзани беркитиб қўйиши, эришни тўхтатиб қўйиши мумкин), фосфорни ажратиш камайиб кетиши мумкин.

Реакция аралашманинг бўлиш вақтини тарқатиш аралаштирилувчи реакторларда доимо учраб туради (2.58, *а*-расм). Кирувчи оқимнинг қандайдир қисми тезгина чиқишга улгуради. Модданинг айланишига вақт кам бўлади. Оқимнинг бир қисми реакция зонада кўпроқ вақт қолиб кетади. Чиқишда оқимнинг барча қисмлари аралашиб кетади. Агар



2.58-расм. Аралаштирилувчи реакторда (*а*) модда ҳаракатининг бўлиши мумкин бўлган траекториялари ва оқимнинг тешик трубаги реактор (*б*) ва донатор қават (*в*) кесими бўйича оқим тезлигининг тарқалиши.



реакцион арлашманинг ҳар бир порцияси кимёвий актга учраса, унда бўлиш вақтининг тарқалиши умумий айланишга катта таъсир кўрсатмайди. Лекин узундан-узун, кўп босқичли айланишлар ҳам содир бўлиши эҳтимолдан холи эмас. Полимерланиш жараёни шундай жараёнлардан ҳисобланади. Полимер занжири узунлиги реакцияни ўтказиш вақтига боғлиқ бўлади. Полимер молекулалари узунлиги ҳар хил бўлиб қолиши молекуляр-масса таркибига сифат жиҳатидан салбий таъсир кўрсатиши аниқланган.

Трубкали реакторда оқим трубка ўқи ва девор бўйлаб ҳар хил тезлик билан ҳаракатланади (2.58, б-расм). Донатор насадкали реакторда (масалан, катализаторлида) кесим бўйича тезлик бараварлашади (насадка ҳисобига). Барибир, девор ёнида газ кўпроқ ўтади (2.58, в-расм).

Марказий қисмдаги қаватда ва четда модданинг турли вақтда бўлиши турли айланишларга сабаб бўлади, қават кесими бўйича концентрация градиентлари вужудга келади. Бу кесим бўйича диффузион кўчишларга сабаб бўлади. Агар бу ҳодиса интенсив бўлса, унда концентрация кесим бўйича тенглашади, жараёни идеал сикиб чиқариш модели билан ифодалаш мумкин бўлади.

Оқим реакторида доимо диффузион кўчиш рўй бериб туриши орқасида узунлик бўйича концентрация градиенти рўй бериб туради. Бундай кўчиш механизми нафақат молекуляр бўлиб, балки модда оқими  $D$ ,  $dC/dl$  ни диффузиянинг қандайдир эффектив коэффициент  $D$ , билан ҳам аниқланиши мумкинлиги маълум. Бу оқимни конвектив билан солиштирилса, унда буни моделни тузишда ҳисобга олиш керак бўлади.

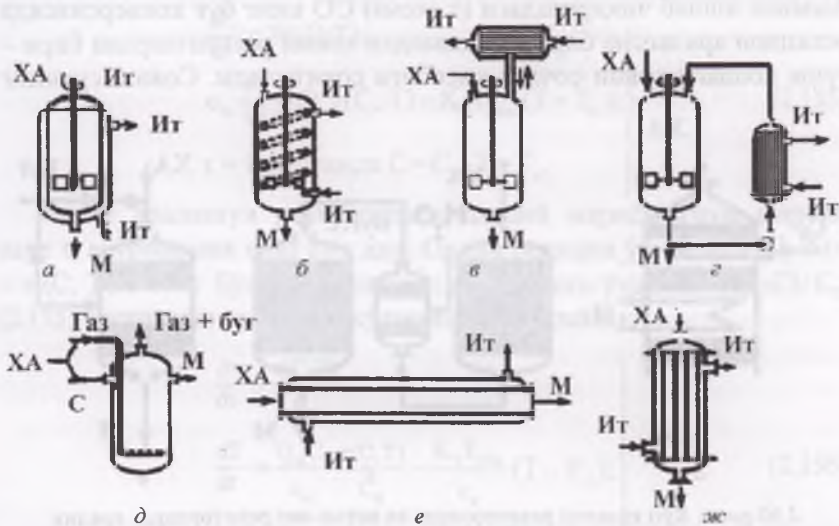
**Реактордаги оқимнинг ноидеаллигини ҳисобга олиш** бир қатор босқичларни ўз ичига олади. Биринчи босқич – реактор ҳажмидаги оқимлар тезлиги майдонини аниқлаш (масалан, диффузион оқимники). Бунда тезлик векторларини эксперимент ёрдамида ўлчаш ёки аэро- ёки гидродинамик синовлардан фойдаланиш. Иккинчи босқич оқим структураси ва кўчиш ҳодисасини тўла акс эттирувчи моделни тузиш. Учинчи босқич – жараён кўрсаткичларидаги оқимнинг идеалликдан четга чиқувини олинган модел ёрдамида таҳлил қилиш. Бундай таҳлил асосий оқим бўйича диффузион кўчишини агар  $Lu/D_3 > 50$  (бу ерда  $L$  – реактор узунлиги) амалда ҳисобга олинмаслиги мумкинлигини кўрсатди.

## 2.8. КИМӨВИЙ РЕАКТОРДАГИ НОИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН

### 2.8.1. Реакторда иссиқлик алмашинишни ташкил этиш ва температура режимлари

Кимёвий айланиш доимо реагентлар энтальпияси ўзгариши билан боради, бунда иссиқлик ажралади ёки ютилади, натижада таъсирлашувчи аралашма температураси кўтарилади, Атроф билан иссиқлик алмашинуви ҳам киради, унинг ёрдамида реакция, ётиш зонасида керак температура шароитлари яратилади.

Илгари 2.6.2-бўлимдан кимёвий реакторларнинг иссиқлик режимлари бўйича классификацияси берилганди. Реакцион зона билан иссиқлик алмашинишнинг техник счимлари умумий кўриниши 2.59-расмда кўрсатилган. *а, б, в, ж* схемаларда иссиқлик олиб кетилиши иссиқлик алмашиниш юзаси орқали реакцион зонанинг ўзидан иссиқлик ташитгич орқали амалга оширилади. *в, г,* схемаларда иссиқлик алмашиниш юзаси реакцион зонадан чиқарилган. Схема *в* да иссиқлик реакцион аралашманинг бир қисми буғланиши ҳисобига чиқарилади, у конденсацияланади ва реакторга қайтарилади, *г* схемада реакцион аралашма реакцион

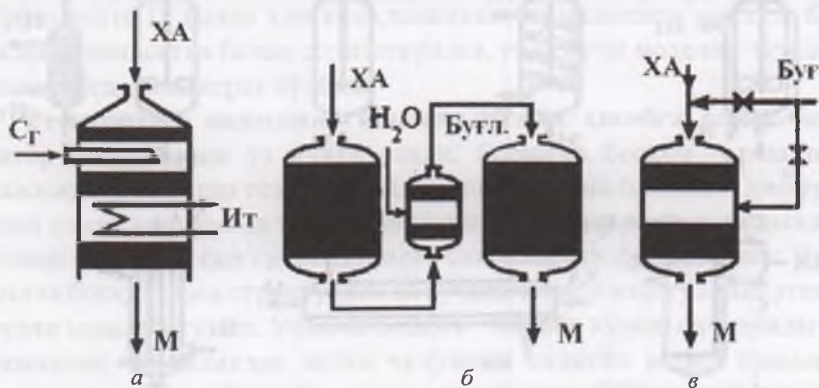


2.59-расм. Кимёвий реакторлардаги реакцион зонада иссиқлик алмашинишни ташкил этиш. Х<sub>А</sub>—хом ашё; М—маҳсулотлар; Ит—иссиқлик ташитгич.

зона билан иссиқлик алмаштиргич оралиғида айланади, шу жойда иссиқлик алмашиниш рўй беради. Схепада иссиқлик факат суюқлик буғланиши, одатда барботирловчи компонент бўлган эритувчи ҳисобига чиқарилади. Газ компонентни «сиққан» ҳолда, яъни реактордаги босимни ўзгартириб, газ оқимидаги олиб кетилаётган буғ миқдорини ўзгартириш мумкин ва буғ билан олиб кетилаётган иссиқлик миқдорини ўзгартириш мумкин.

Кўп қаватли реакторда ёки кетма-кет қўйилган реакторларда иссиқлик қаватлараро бўшлиқдан (ёки реакторлар оралиғидан) юза иссиқлик алмаштиргичлар ёрдамида чиқарилади, бунда совуқ (қайноқ) реакция аралашма ёки унинг компонентларини киритишдан ҳам фойдаланилади.

Схемалар 2.60-расмда келтирилган.  $SO_2$  ни оксидлаш реакторида катализаторнинг иккинчи қаватидан кейин (а схема) ва кейингиларидан иссиқлик иссиқлик алмаштиргич юзалар орқали чиқарилади, биринчи қаватдан кейин эса совуқ реакция аралашма киритиш билан амалга оширилади. Бунинг учун ҳам ашёнинг маълум қисми керакли температурагача иситилади ва биринчи қаватга йўналтирилади, қолган қисми иситилмаган ҳолда, биринчи қаватдан кейинги иссиқ оқимга совутилган ҳолда қўшилади. Аммиак ишлаб чиқаришдаги (б схема)  $CO$  нинг буғ конверсиясида реакция аралашма биринчи қаватдан кейин реагентлардан бири – суюқ ҳолдаги сувни сочиш ҳисобига совутилади. Сувни сувнинг



2.60-расм. Кўп қаватли реакторларда ва кетма-кет реакторларда орилик иссиқлик алмашинишни ташкил этиш. ХА, М, ИТ – 2.59-расмдагидек. СГ – совуқ газ, Буғл. – буғлатгич.



буғланиши ҳисобига амалга ошади. Синтетик каучук мономерлари ишлаб чиқариш реакторларида (в схема) экзотермик дегидрирлаш реакциялари амалга ошади. Бунда бутан, бутилен, этилбензол ва бошқалардан фойдаланилади. Инерт суюлтирувчи сифатида сув буғидан фойдаланилади. Биринчи қаватдан кейин реакция ара- лашма температураси юқори температурали ўтқир буғ киритиш билан кўтарилади.

Кўп қаватли реакторлар ва реакторлар системаси кимё техноло- гияси системаси қисми сифатида кейинроқ кўрилади. Бу ерда битта реакция зонадаги жараёни қараймиз. Худди изотермик жараён- ники сингари жараён анализи иссиқлик алмашиниш реакторида олинган моделлар чегарасида ўтказилади.

### 2.8.2. Даврий идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш оқимли иссиқлик алмашинувчи режимлар

Илгари оқимсиз идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш реак- торларидаги жараёнлар математик моделлари ўхшашлиги кўрсатиб ўтилганди. Идеал сиқиб чиқариш жараёни ифодасидан фойдалана- миз (2.132 а-в):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= W(C, T); \\ c_m \frac{dT}{dt} &= Q_m r(C, T) - K_T F_{\text{сол.}} (T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } C &= C_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.155)$$

Идеал аралашув реакторидаги даврий жараён учун шартли вақт  $\tau$ , астрономик вақт  $t \equiv \tau$  дир. Оддий реакция ўтганда  $W(C, T) = -\tau(C, T)$  га тенг бўлади. Айланиш даражасига ўтиб  $x = (C_0 - C)/C_0$ , (2.155) системани қуйидаги кўринишга ўтказамиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{r(C, T)}{C_0}; \\ \frac{dT}{dt} &= \frac{Q_m C_0}{c_m} \frac{r(C, T)}{C_0} - \frac{K_T F_{\text{сол.}}}{c_m} (T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } x &= x_k, T = T_k, \end{aligned} \right\} \quad (2.156)$$

Бу сурда ишлатилган ифодалар:  $C_0$  – таъсирлашмаган аралашмадаги дастлабки компонентнинг реакторга кираверишидаги бошлангич концентрацияси;  $C_k$  – мазкур компонентнинг реакторга кираверишидаги концентрацияси, у  $C_0$  дан фаркланиши мумкин, агар реакторга қисман таъсирлашган аралашма берилса (унда  $x_k \neq 0$ ).

$Q_m Q_{in} / c_m = \Delta T_{ад}$  ифодаси – **адиабатик иситиш** илгари учраганди (2.5.4 бўлимда). Реакция тезлиги  $r(C, T)$  нинг дастлабки концентрация  $C_0$  га нисбатини айланиш даражаси  $x$  билан ифодалаймиз ва белгилаймиз:  $r(C, T)/C_0 = r(x, T)$ .

Куйидаги нисбат

$$K_T F_{сод} / c_m = V \quad (2.157)$$

**иссикликни чиқариш параметридир.**

Мазкур белгилашлар туфайли (2.156) система яхшироқ кўринишга эга бўлади.

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= r(x, T); \\ dT/d\tau &= \Delta T_{ад}(x, T) - B(T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } x &= x_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.158)$$

Ушбу системада фақат учта параметр:  $\Delta T_{ад}$ ,  $B$  ва  $T_x$  реактордаги иссиклик ҳодисаларини характерлайди. Агар схемаси мураккаб бўлган реакция амалга ошса, унда (2.158) системасининг дифференциал тенгламасининг ўнг қисмидаги биринчи қўшилувчилар бундай кўринишга эга бўлади:

$$\sum_j r_j(x, T) \quad \text{ва} \quad \sum_j \Delta T_{адj} r_j(x, T),$$

бу ерда  $j$  индекси  $j$  хилдаги хусусий реакцияга тегишлидир.

**Жараён анализи.**

Умумий кўринишда аналитик ечимни олиш қийин бўлсада, жараён анализини ўтказишга ҳаракат қиламиз.

Адиабатик режимида атроф билан иссиклик алмашинмайди, яъни  $B=0$  ва (2.158) тенглама куйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\left. \begin{aligned} dx/d\tau &= r(x, T); \\ dT/d\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } x &= x_k, T = T_k. \end{aligned} \right\} \quad (2.159)$$



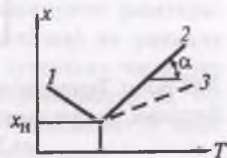
Ушбу системанинг иккинчи тенгламасини биринчига бўламиз ва  $dT/dx = \Delta T_{ад}$  ни оламиз. Уни  $x_k$  билан  $x$  ва  $T_k$  билан  $T$  оралиғида интеграллаймиз. Реакцион аралашма иситилиши  $(T-T_k)$ ни айланиш даражаси  $x$  га етгунча оламиз:

$$T - T_k = \Delta T_{ад}(x - x_k). \quad (2.160)$$

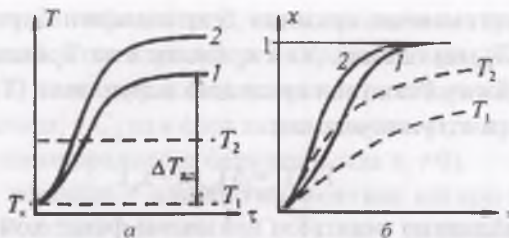
Агар бошланғич реакцион аралашма фақат хом ашёдан иборат бўлса ( $x_k = 0$ ) ва реакция охиригача ўтказилса ( $x = 1$  гача), унда реакцион аралашма  $T - T_k = \Delta T_{ад}$  га исийди (адиабатик иситиш катталиғига), бу  $T_{ад}$  ибораси моҳиятига жавоб беради.

(2.160) тенгламада  $x$  ва  $T$  нинг чизикли боғлиқлиги кўринади, бунда кинетик боғланиш кўринишининг аҳамияти йўқ. Жараён натижаси (охирги температура  $T$ ) кимёвий таъсирлашувчи система (айланиш даражаси  $x$ ) га боғлиқ бўлади, лекин айланиш йўлига боғлиқ бўлмайди, қандай ўтишида кинетиканинг роли бўлмайди, Диаграмма « $T-x$ » (2.61-расм)дан ва реактордаги жараён анализидан фойдаланамиз, адиабатик жараёнда  $x(T)$  боғлиқлиги – қайрилган тўғри чизикдан иборат бўлиб (аникроғи қийшайиш бурчаги тангенсига  $x$  билан), адиабатик иситиш катталиғи тескарисига тенг бўлади:  $\text{tg}\alpha = 1/\Delta T_{ад}$ . Экзотермик реакция учун қийшайиш ижобийдир ( $Q_M > 0$  ва  $T_{ад} > 0$ ), эндотермик реакция учун манфийдир ( $Q_M < 0$  ва  $T_{ад} < 0$ ).  $\Delta T_{ад}$  қанчалик катта бўлса (масалан, дастлабки реагент  $C_0$  концентрацияси оширилганда), тўғри чизик қийшайишининг нисбатан қиялиги реакцион аралашма тезроқ иситиши ёки совитиши билдиради (2.61-расмдаги экзотермик реакция учун кўрсатилган пунктир чизик).

$\tau$  га боғлиқ равишда  $T$  ва  $x$  нинг ўзгариши 2.62- ва 2.63-расмларда кўрсатилган. Реакция ўтиши билан ( $\tau$  ўсиши билан), табиийки, пропорционал равишда температура  $T$  ўсади (ёки эндотермик реакция учун камаяди). Максимал иситиш  $x \rightarrow 1$  ганда амалга ошади ва  $\Delta T_{ад}$  га тенг бўлади. Бошланғич концентрациянинг ва тегишлича



2.61-расм. Адиабатик жараён учун « $T-x$ » графиги: 1 – эндотермик реакция; 2 – экзотермик реакция  $\Delta T_{ад}$  бўлганда; 3 –  $\Delta T_{ад}^* > \Delta T_{ад}$  ҳолат учун шунинг ўзи.



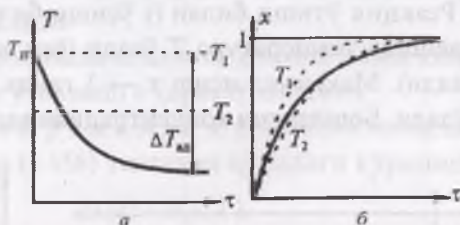
2.62-расм. Температура  $T$  (а) ва айланиш даражаси  $x$  (б) нинг ИСЧ режимидаги профиллари. Узлуксиз чизиклар – Тад (1) ва  $\Delta T'_{ад} > \Delta T_{ад}$  (2) бўлганда экзотермик адиабатик жараён; пунктир чизиклар –  $T_1$  ва  $T_2$  температуралардаги изотермик жараён.

$\Delta T_{ад}$  нинг ошуви температуранинг кўп ўсуви ва айланишнинг тезлашувига олиб келади (2.62-расмдаги 2-эгри чизик).

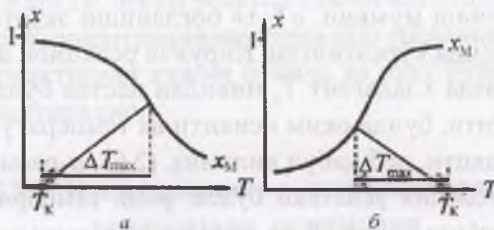
### Изотермик жараён билан солиштириш.

Натижа изотермик жараён температурасига боғлиқдир. Изотермик жараён  $T_0 = T_k$  температурада амалга оширилаяпти, дейлик. У адиабатик изотермик жараённинг ўзгарувчи температурасидан пастда ва эндотермик жараёнда эса юқорида ўтади. Биринчи ҳолда изотермик жараён камроқ интенсив, иккинчи ҳолда айланиш тезроқ ўтади (2.62 ва 2.63-расмлардаги 1 пунктир чизиклар). Агар  $T_0 > T_k$  бўлса, унда изотермик режимда аввалига жараён адиабатик экзотермикдан интенсивроқ бўлади. Температура адиабатик жараёнда  $T_0$  нинг қийматига етганида у анча интенсивлашади (2.62-расмдаги 2 пунктир чизик).

Экзотермик жараёнда  $T_0 < T_k$  бўлганда акс ҳолатни кўрамиз (2.63-расмдаги 2 пунктир чизик). Агар реакция қайтар бўлса, унда « $x$ - $\tau$ » ва « $T$ - $\tau$ » боғланишларининг умумий характери сақланади,



2.63-расм. Температура (а) ва айланиш даражаси  $x$  (б) нинг ИСЧ режимидаги профиллари. Туташ чизиклар-экзотермик адиабатик жараён; пунктир чизиклар –  $T_1$  ва  $T_2$  температуралардаги изотермик жараён.

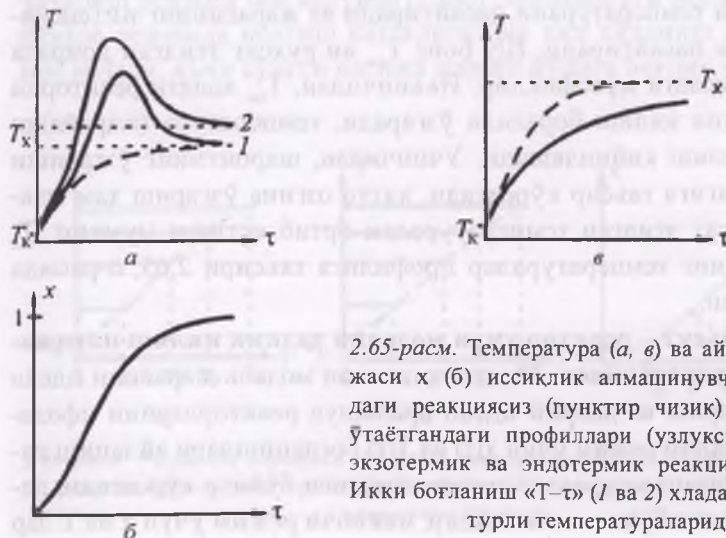


2.64-расм. Максимал адиабатик исиш  $\Delta T_{\max}$  ни қайтар экзотермик (а) ва эндотермик (б) реакцияларда аниқлашга доир:  $x_m$  – мувозанатдаги айланиш даражаси; тўғри чизиклар – ИСЧ режимидаги адиабатлар.

лекин жараён фақат мувозанатгача давом этади. Максимал исиш  $T - T_m = \Delta T_{\text{ад}} [x_m(T) - x_k]$  га тенг бўлади.

Уни 2.64-расмдаги «Т-х» графигидан аниқлаш мумкин, бунда  $x_m(T)$  ва тўғри чизик  $x(T)$  боғланишлари (2.160) тенглама билан ифодаланувчи адиабатик жараён учун берилганлигини эътиборга олиш керак бўлади. Бу боғланишларнинг кесишуvidан Т макс ни каватдан шу графикда кўрсатилгандек топилади.

Иссиқликни реактордан олиб чиқиш жараёни ни кўриб чиқамиз. (2.158) системасидаги тенгламаларни компью-



2.65-расм. Температура (а, в) ва айланиш даражаси х (б) иссиқлик алмашинувчи реактордаги реакциясиз (пунктир чизик) ва реакция ўтаётгандаги профиллари (узлуксиз чизиклар экзотермик ва эндотермик реакциялар (а, б). Икки боғланиш «Т-τ» (1 ва 2) хладагент  $T_x$  нинг турли температураларида.



тер ёрдамида счиш мумкин. «Т–т» боғланиши экзотермик жараён учун 2.65, а-расмда кўрсатилган. Кирувчи реакцион аралашма температураси одатда хладагент  $T_x$  никидан пастда бўлади. Аввалига реакция ўтмаяпти, бунда оқим исияпти ва температура аста-секин  $T_x$  га яқинлашаяпти, деб қабул қиламиз. (2.65, а-расмдаги пунктир чизик). Агар реакция ўтаётган бўлса, унда температура реакция иссиқлиги ҳисобига ўсади.  $T_0$  га етганда температура янада ўсади.  $T_x$  га етганда ҳарорат янада кўтарилади.

Лекин жараён интенсивлиги дастлабки реагентлар сарфи туфайли пасаяди, иссиқликни чиқариш эса унинг ҳаракатлантирувчи кучи (температуралар фарқи  $T - T_x$ ) туфайли ўсади. Иссиқлик ажралиши ва олиб чиқилиши тенглашганда температура максимал қийматга эга бўлади, кейин у реакция тамомланишида  $T_x$  га тушиб қолади. Аралашма эндотермик реакция кетганда реакция бормайдигандан кўра секинроқ исийди (2.65, в-расмда).

Реактор ичидаги температура экзотермик реакция ўтаётганида катта аҳамиятга эга бўлади ва уни назорат қилиш реактор режими бошқаришда муҳим рол ўйнайди. Бу кесим хавфли бўлиб, «қайноқ нуқта» номини олган. Биринчидан, унинг температураси  $T_{кн}$  жараёнда керагидан ортиқча бўлмаслиги керак, унинг камайиши умумий температурани пасайтиради ва жараённинг интенсивлигини ҳам пасайтиради. Шу боис  $T_{кн}$  ни рухсат этилган доирада сақлаш мақсадга мувофиқдир. Иккинчидан,  $T_{кн}$  ҳолати реакторни эксплуатация қилиш борасида ўзгаради, температура (жараён)ни назорат қилиш қийинлашади. Учинчидан, шароитнинг ўзгариши  $T_{кн}$  катталигига таъсир кўрсатади, ҳатто озгина ўзгариш ҳам максимал рухсат этилган температурадан ортиб кетиши мумкин.  $T_x$  ўзгаришининг температуралар профилига таъсири 2.65, а-расмда кўрсатилган.

**Реал объект – реактор учун моделни тадқиқ қилиш натижалари интерпретацияси.** Тадқиқ қилинган модель жараёни идеал сикиб чиқариш ва даврий идеал аралашув реакторларини ифодалайди. Биринчи режим учун  $x(\tau)$  ва  $T(\tau)$  боғланишлари айланиш даражаси ва температурани реактор узунлиги бўйича кўрсатади, лекин булар вақт бўйича доимийдир; иккинчи режим учун  $x$  ва  $T$  лар



вақт бўйича ўзгаради, лекин реактор ҳажми вақтнинг ҳар momenti-да бир хилдир. Концентрациялар тарқалиш (айланиш даражаси) ва температура реакторлар ҳажми бўйича ва вақт бўйича изотермик жараёниги сингаридир.

### 2.8.3. Идеал аралашув оқим реакторида температура режимлари

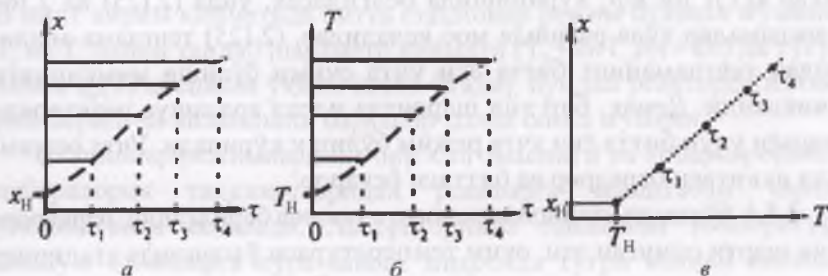
**Жараён анализи.** Идеал аралашув оқим реакторида жараён математик (231 а, б) тенгламалари билан ифодаланади. Киритилган параметрлар  $\Delta T_{ад}$  ва  $B$  лардан фойдаланиб, ифодаси  $(x, T)$  ни ишга солиб, жараёниги система қилиб ифодалаймиз

$$\left. \begin{aligned} x/\tau &= r(x, T) \\ T/\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T) - B(T - T_K) \end{aligned} \right\} \quad (2.161)$$

Адиабатик режимда (иссиқлик чиқариш параметри  $B=0$ ):

$$\left. \begin{aligned} (x - x_K)/\tau &= r(x, T); \\ (T - T_K)/\tau &= \Delta T_{ад} r(x, T). \end{aligned} \right\} \quad (2.162)$$

Иккинчи тенгламани биринчисига бўлиб,  $x$  билан  $T$  орасидаги қизикли боғланишни оламиз:  $T - T_K = \Delta T_{ад} (x - x_K)$ , у идеал сиқиб чиқариш режими мос келувчи (2.160) тенгламасига мос келади. Ҳар иккала режимда иситиш катталиги бир хил айланиш даражасида мос келади, яъни сўнгги натижа жараён йўлига боғлиқ бўлмайди.



2.66-расм. Айланиш даражаси  $x(\tau)$  (а) ва температура  $T(\tau)$  (б) профиллари, «Т-х» (в), шартли вақт- $\tau$ , (экзотермик реакция)нинг ИА реакторларида турли катталиклари учун графиги.

Температура ва айланиш даражасининг реактордаги профили изотермик режим сингари пиллапоясимон тарқалишга эга бўлади (2.7.2-бўлимга қаранг) – бу 2.66, а, б-расмдан кўринади. «Т-х» графигида реактордаги режим икки нукта билан белгиланган –  $x_k$ ,  $T_k$  бўлганда бошланғич ва реакторда берилган  $\tau$  билан олинувчи  $x$  ва  $T$  лар орқали (2.66, в).  $\tau$  лар ҳар хил бўлганда нукталар гуруҳи  $T(\tau)$  ва  $x(\tau)$  эгри чизикларда ётади, (2.162) системасида ифодаланади ва «Т-х» координатасида  $T = T_k + T_{ад}(x - x_k)$  тўғри чизикда ётади, бу 2.66, в-расмда пунктир чизикда кўрсатилган.

Биринчи тартибли реакция бўлганда ва  $x_k = 0$  ҳолатда (2.162) системаси ечимини кўриб чиқамиз:

$$\left. \begin{aligned} x/\tau &= k(T)(1-x); \\ (T-T_k)/\tau &= \Delta T_{ад} k(T)(1-x) \end{aligned} \right\} \quad (2.163)$$

Мазкур системада реакциянинг тезлик константаси  $k(T)$  температура  $T$  га боғлиқлиги кўрсатилган. (2.163) системадаги икки тенгламадан биттага ўтамиз, бунинг учун (2.163) системанинг биринчи тенгламасидан  $x$  ни  $T$  нинг функцияси сифатида қабул қиламиз:

$$x = \frac{k(T)\tau}{1+k(T)\tau}$$

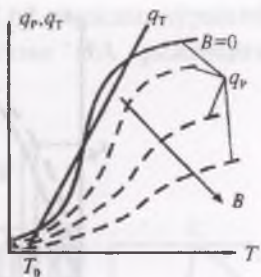
ва иккинчи тенгламага кўямиз:

$$T - T_0 = \Delta T_{ад} \frac{k(T)\tau}{1+k(T)\tau} \quad (2.164)$$

Шунга ўхшаш тенглама (2.125) 2.5.4-бўлимда таҳлил қилинган эди (катализаторнинг ғоваксиз донасидаги иссиқлик ҳодисалари). Агар  $k(T)\tau$  ни  $\kappa/\beta_d$  кўринишида белгиласак, унда (2.125) ва 2.164 тенгламалар тўла равишда мос келадилар. (2.125) тенглама анализдан тенгламанинг битта ёки учта ечими бўлиши мумкинлиги аниқланди. Демак, бир хил шароитда идеал аралашув реакторида жараён учун битта ёки учта режим бўлиши кўринади. Учта режимдан иккитаси барқарор ва биттаси бекарор.

2.5.4-бўлимда стационар режимга таъриф берилганди, барқарорлик шarti олинган эди, оқим температураси ўзгарганда стационар режимлар учун гистерезис кўрсатилди. Бу барча хулосалар ва улар интерпретациялари бу ерда адиабатик жараёнлар учун идеал аралашув реакторларида қўлланса бўлади.

2.67-расм. Оқимли реакторнинг ИА адиабатик режимида (узлуксиз чизиқлар) ва иссиқликни олиб чиқиш В параметрида стационар режимлар сонини аниқлашга доир. (Стрелка В нинг катталиги ортиши йўналишини кўрсатади).



**Иссиқликни чиқариш билан борувчи жараён.** Иссиқликни чиқаришнинг стационар режимлар сонига таъсирини кўриб чиқамиз. Биринчи тартибли реакция ўтаётганда (2.161) системани (2.164) тенгламани олишдагидек ўзгартирамиз:

$$-T - \frac{T_0 + B\tau T_x}{1 + B\tau} = \frac{\Delta T_{ад} k(T)\tau}{1 + B\tau + k(T)\tau} \quad (2.165)$$

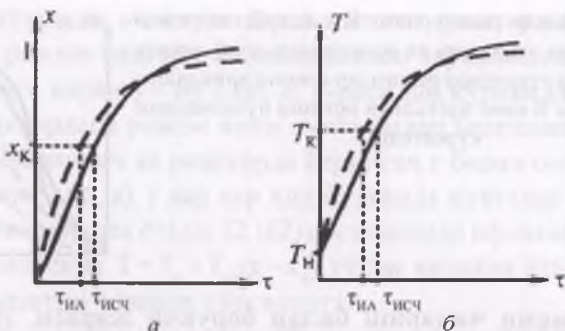
(2.125) даги сингаритенгламанинг чап қисми  $q_r$  билан иссиқликни чиқариш, ўнг қисми эса иссиқлик ажралиш  $q_p$  сифатида белгиланган. 2.67-расмда узлуксиз чизиқлар  $q_p(T)$  ва  $q_r(T)$  нинг боғлиқлиги адиабатик режим учун ( $B=0$ ), пунктир чизиқ билан эса иссиқликни олиб чиқиш режими ( $B \neq 0$ ) кўрсатилган. Иссиқликни олиб чиқиш шароитида доимий коэффициент  $\tau$  да  $\Delta T_{ад}/(1+B\tau)$ —адиабатик режимдагидан кичик ва S-шаклли эгри чизиқ қияроқдир.

Иссиқликни олиб чиқиш орқасида реакторда максимал иссиқ адиабатикдагидан кам бўлади ва  $T_{ад}/(1+B\tau)$ га тенг бўлади. Параметр В нинг айрим қийматида битта стационар режим бўлиши мумкин.  $T_0$  ва  $T_x$  ларни танлаб [параметр қиймати  $(T_0 + B\tau T_x)/(1+B\tau)$  да тўғри чизиқ  $q_r(T)$  абсцисса ўқини кесиб ўтади], бундай реакторда ихтиёрй берилган айланишни барқарор ҳолда олиш мумкин.

Стационар режимларнинг бир хил эмаслиги ва нобарқарорлиги лаборатория тадқиқотларидан реакторга масштабни тарзда ўтказилганда сезилади. Лабораторияда танланган температура маълум сабабларга кўра саноат микёсида тўғри келмай қолиши мумкин.

**Идеал аралашув ва сиқиб чиқариш оқимли режимларини адиабатик жараёнда солиштириш.**





2.68-расм.  $x(\tau)$  (а) ва  $T(\tau)$  (б)ларнинг оким реакторида ИСЧ (яхлит) чизиклар ва ИА нинг адибатиқ реакторларида (пунктир) боғлиқлиги.

ИА режимда турли айланиш даражалари амалга ошади, деб фараз қиламиз. Бу режимлардаги жараён интенсивлигини солиштирамиз, яъни «х-г» нинг боғлиқлиги жараёнларнинг бир хил параметр ва шароитларида олиб борилди. Аввалига экзотермик жараённи қараб чиқамиз. Тегишлича боғланишлар 2.68-расмда келтирилган. Идеал аралашув режимда жараён сўнгги шароит (температура ва концентрация)да ўтади, идеал сиқиб чиқариш режимда эса жараённинг ўтиш шароитлари бошидан охиригача ўзгариб туради. Шу боис ИСЧ режимда хом ашёнинг ўртача концентрацияси юқори, ўртача температура эса камдир. Айланиш тезлигига температура ижобий таъсир кўрсатади ва концентрациянинг салбий таъсиридан кучлироқ бўлади. Мана солиштирайлик: айтилик,  $T_k = 500 \text{ K}$ ;  $\Delta T_{ад} = 200 \text{ град}$ ;  $x = 0,5$  бўлсин. ИСЧ режимда жараённинг ўртача ўтиш шароитлари  $x = 0,25$ ;  $T = T_k T_{ад} x \approx 550 \text{ K}$  га тенг. ИА режимда:  $x = 0,5$ ;  $T = 600 \text{ K}$ . га тенг. ИА режимда:  $x = 0,5$ ;  $T = 600 \text{ K}$ . Реакция тезлиги  $1-x$  га пропорционал; ИСЧ режимда ИА дагига қараганда 1,5 баравар юқоридир. Лекин температуранинг 50 градус фарқи ИА режимда реакция тезлиги бўйича 4 баровар ютилади, бу «концентрацион» йўқотишлардан юқоридир. Идеал аралашув режими идеал сиқиб чиқаришга қараганда бир мунча интенсив, яъни айланишнинг бир хил даражасига эришув борасида ИА реакторида сарфланадиган шартли вақт камдир.

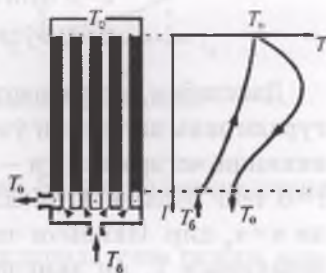
ИА режимда жараён фақат айланиш даражаси юқори бўлган тақдирдагина, яъни концентрацион фактор таъсири кучли бўлган-



дагина камроқ интенсивликка эга бўлади. Бу 2.68-расмдан кўриниб турибди. Эндотермик жараёнда ИСЧ режими ИА режимига қараганда доимо интенсивроқдир.

### 2.8.4. Автотермик реактор

Реакцион зонадан иссиқликни олиб чиқадиган трубади реактор варианты 2.69-расмда кўрсатилган. Иссиқлик ташитгич бўлиб реакцион хом ашёнинг ўзи хизмат қилади. Хом ашё реактор трубкаларига узатилади, у ерда экзо-термик реакция иссиқлиқлиги билан иситилади. Трубкачалардан ўтган оқим трубалараро бўшлиққа йўналтирилади, шу ерда реакция амалга оширилади (катализаторда). Ажралаётган иссиқлик девор орқали «совутгичга», яъни янги реакцион аралашмага берилади. Реакторнинг шундай схемасини аммиак синтезида кўриш мумкин. Катализаторнинг трубкада эмас, балки трубалараро бўшлиқда жойлаштирилиши режим учун аҳамиятли бўлмасдан, балки конструктив томонлардан ҳисобга олинади.



2.69-расм. Автотермик реактор схемаси ва ундаги температуралар профили.

Математик жиҳатдан жараён (2.155) реакцион аралашмани иситиш тенгламаси билан тўлдирилган тенгламалар системасида ифодаланади:

Мазкур тенглама (2.155) системанинг иккинчи тенгламасига ўхшайди. Унда ўнг томонда биринчи кўпайтма йўқ – реакция янги реакцион аралашма иситилганда ўтмайди. Чап қисмида «минус» ишораси турибди – катализатор қаватида иситилаётган оқим унинг ҳаракатига тесқаридир. Пастдаги  $x$  индекслар мазкур катталикнинг «совутгичга» нисбатини англатади. Шартли вақт  $x = v_x / V_0$ , иссиқлик алмашинуви солиштирма юзаси  $F_{\text{соп.}x} = F_r / v_x$ . Агар  $r = v_p / V_0$  ва  $F_{\text{соп.}} = F_r / v_p$  ифода реакцион бўшлиққа қўлланилса, унда (2.166) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

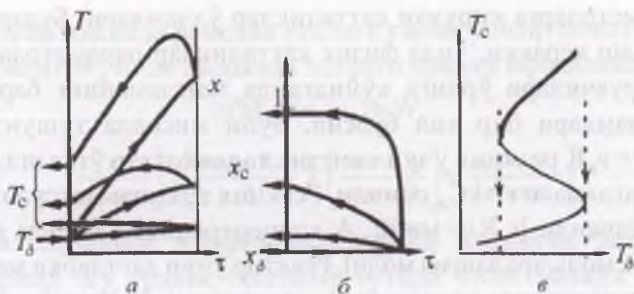
$$-c_m (dT_x / d\tau_x) = -K_r F_{\text{соп.}x} (T_x - T) \quad (2.166)$$

ва (2.158) билан биргаликда шундай реактордаги жараённи ифода-лайди:

$$\left. \begin{aligned} dx/dt &= r(x, T); \\ dT/dt &= \Delta T_{ад} r(x, T) - B(T - T_x); \\ dT_x/dt &= -B(T - T_x); \\ \tau = 0 \text{ бўлганда } T &= T_x \quad (x = x_0); \\ \tau = \tau_0 \text{ бўлганда } T_x &= T_0 \quad (x = x_0). \end{aligned} \right\} \quad (2.167)$$

Дастлабки чегара шarti  $T = T_x$  трубкaлардан чиққан  $T_x$  температурали оқим шу ернинг ўзида катализатор қаватига йўналтирилади, иккинчи чегара шarti – оқимнинг реакторга киришдаги ҳолати  $r = 0$  тенг бўлади. Трубкаларда айланиш рўй бермаганлиги сабабли  $x = x_k$  дир. Иккинчи чегара шarti трубкага кирувчи оқим температураси  $T_k$  ни аниқлайди. (2.167) системада чегара шartлари қаватнинг турли чегараларида берилган. Бундай системани сонли интеграллаш учун «отиш» усулини қўллашади:  $\tau = 0$  бўлганда  $T_0$  температуранинг қиймати танланади, яъни чегара шartларидан фойдаланилади:  $r = 0$  бўлганда  $T = T_x = T_0$ ;  $x = x_k$  интеграллаш сўнгида  $\tau = \tau_k$  тенглигида  $T_x = T_k$  шarti бажарилиши амалга ошади. Реакцион донада температуралар профили иссиқликни олиб чиқиш реакторларида экстримал боғланиш кўринишида бўлади. Хладагент температураси (янги реакцион аралашманики) трубкалар бўйлаб ўсиб боради. 2.69-расмнинг ўнг томонида температуралар профиллари кўрсатилган. Реакцион зонада жараён иссиқликни чиқариш билан, реакторда эса адиабатик режимда боради, чунки ташки иссиқлик ташитгичдан фойдаланилмайди. Шу боис кириш ва чиқиш оқимларида оқимлари температура фарқи адиабатик иситиш  $\Delta T_{ад}$  га тенг бўлади. Бундай режим ва реактор *автотермик* деб юритилади.

Юқорида берилган усул билан (2.167) системани  $T_0$  нинг турли катталикларида  $T_0$  нинг бир хил бошланғич шароитларида счимини олиш мумкин. Бу 2.70, а, б-расмларда кўрсатилган. Битта стационар режим паст ҳароратли, камрок айланиш билан; бошқаси – тўла айланиш ва реактор ичида катта иситиш билан боради. Иситиш адиабатик иситишниқидан бир неча баравар юқори бўлиши мумкин. Учинчи режим булар оралиғида ўртача бўлади. У беқарор ва шу боис



2.70-расм. Автотермик реактордаги стационар режимлар.

амалга ошириб бўлмайд.  $T_6$  ни ўзгартириб,  $S$  – симон боғлиқликни оламиз (2.70, в-расм).

$T_k$  нинг маълум миқдордаги ўзгаришларида учта режим мавжуд бўлса (расмда қуюқ қилиб берилган) ва бошланғич температура  $T_1$  гача пасайса, унда жараён «ўчади» – температура қайтмас ҳолда стрелка бўйлаб пасаяди. Илгариги режимга чиқиш учун реакторни махсус иситиш зарур бўлади. Аммиак синтези реакторида бундай ҳодисалар ҳақиқатан учраб туради.

## 2.9. САНОАТ КИМЁВИЙ РЕАКТОРЛАРИ

### 2.9.1. Кимёвий реакторларни ҳисоблаш ҳақида умумий фикрлар

Кимёвий жараён ва реакторлар математик моделлари келтирилган ўзгарувчан параметрлар (айланиш даражаси, шартли вақт, нисбий ўлчами)ни ва константа, параметр ва жараён шароитларининг комбинацияланган коэффицентларини ўз ичига олади. Жараён кўрсаткичлари ва шароитлари, реактор иши ўлчанувчи катталиклар – булар унум, юклама, концентрация, температура, реактор ўлчами ва ҳажми билан аниқланади. Жараён кўрсаткичларидан модел параметрлари ва ўзгарувчиларига ўтилганда канчалик аниқлик билан иш кўрилса, ҳисоблар ҳам шунчалик аниқ бўлади. Моделлар параметрлари ва ўзгарувчилари тенгламалар келтирилган маълумотлар асосида топилади. Бунда қуйидагиларга аҳамият бериш лозим бўлади.



Параметрларга кирувчи катталиклар ўлчамлари. Буларни шундай танлаш керакки, унда физик катталиклар параметрлар ва модел ўзгарувчилари ўрнига қўйилганда тенгламанинг барча аъзолари ўлчамлари бир хил бўлсин. Буни мисолда тушунтирамиз.  $v_A A + v_B B = v_R R$  реакция учун кинетик тадқиқотлар ўтказилди ва кинетик тенгламаси  $r = kC_A$  олинди. Реакция тезлиги маҳсулот ҳосили бўйича ўлчанди  $[r \text{ R/л} \cdot \text{мин}]$ . А концентрацияси мольда олинган, ўлчами  $[A \text{ моль/аралашма моли}]$ . Реактор учун дастлабки маълумотлар қуйидагичадир: ҳажм  $v_p [m^3]$ ; реакторга  $v_0 [m^3/\text{соат}]$  миқдориди реакция аралашма узатилади. Ҳажм  $v_p [m^3]$ ; реакторга  $V_0 [m^3/\text{соат}]$  миқдориди бошланғич концентрацияси  $C_0$  (ҳажмий улуш) бўлган реакция аралашма узатилди. Реактордаги жараён идеал аралашув модели билан ифодаланеди:

$$\frac{C_A - C_0}{\tau} = W(C_A) \quad \text{ёки} \quad \frac{C_0 - C_A}{\tau} = k(C_A), \quad \text{ёки} \quad \frac{x}{\tau} = k(1-x). \quad (2.168)$$

Бу уччала тенглама бир-бирига тенг маромдadir. Ҳисоблар учун оддийроқ бўлган учинчи тенгламадан кўпроқ фойдаланилади. (2. 168) тенгламанинг охиргисида ўнг ва чап томондаги ўлчамлар бир-бирига мос келмайди. Хато қилмаслик мақсадида қуйидаги йўллардан фойдаланилади:

1. Қайта ҳисоблаш коэффициентларини киритиш:

– ўнлик қўшимчалар (кило-, деци-, милли- ва бошқалардан фойдаланиш; ўлчов бирликлари (жоуль-калория, тонна-килограмм, соат-секунд ва бошқаларни) ишлатиш;

– физик ва физик-кимёвий константалар (зичлик  $\rho [г/л]$ , молекуляр масса  $M [г/моль]$ , молекуляр ҳажм  $22,4 [л/г-моль]$  стехиометрик коэффициент  $\nu [моль]$  ва бошқаларга ўрин бериш)дан фойдаланиш.

Бу барча коэффициентлар маълумотнома адабиётларида мавжуддир.

2. Ўлчамсиз катталикларни уларнинг дастлабки ўлчамларига қўйиш: масалан, [улуш]-ўрнига  $[л/л]$  ёки  $[кг/кг]$  қўйиш.

3. Ўлчамга фаза ҳолатини кўрсатиш:  $[Ж/л, \text{-град}]$  ёки  $[Ж/лс-град]$  («г», «с» индекслари газ ва суюқ фазаларга оиддир).

4. Ўлчамларда компонент номини белгилаш:  $\nu [моль К]$   $M [г/моль А]$  ва х.к. Натижада ўлчамлар мос тушмаслиги туфайли хатолар анча камаяди.



Кўрилган мисолда реакция тезлиги  $r$  нинг ўлчанган катталиклари компонент  $W_A$  нинг айланиш тезлиги оркали ифодаланади:

$$(r/M_R) \cdot (v_A/v_R) = W_A$$

$$\left[ \frac{r}{\text{л} \cdot \text{мин.}} \right] / \left[ \frac{\text{моль R}}{r} \right] \cdot \left[ \frac{\text{моль A}}{\text{моль R}} \right] = \left[ \frac{\text{моль A}}{\text{л} \cdot \text{мин.}} \right]$$

Қайта ҳисоблаш коэффициентларини киритган ҳолда улар ўлчамларини шу ердаёқ тенглама остида ёзган маъқул бўлади— бунда хатога йўл қўйилмайди. Концентрация  $C_A$  ни моль сифатида қараймиз:

$$C_A/22,4 = C_A.$$

$$\left[ \frac{\text{л A}}{\text{л} \cdot \text{см}^3} \right] / \left[ \frac{\text{моль A}}{\text{л A}} \right] = \left[ \frac{\text{моль A}}{\text{л} \cdot \text{см}^3} \right]$$

нинг ўлчамига кирувчи вақт  $t$  ва  $V_0$  (ва  $t$ ) бир хил бирликда, масалан, минутларда ёзилиши керак.

**Жараён шароитлари ва модел параметрлари** кўпинча ҳар хил формада берилади. Реактор учун белгиланган маълумотлар ичида кўпроқ унум, юклама, маҳсулот чиқиши, ҳажм, геометрик ўлчам ва бошқалар учрайди. Реактордаги жараённи ҳисоблашда ишлатиладиган математик моделлар тенгламаларида одатда айланиш даражасини, реакциянинг шартли вақти ва параметрларини физик катталикларнинг комбинацияси сифатида адиабатик иситиш  $T_{a1}$ , иссиқликни чиқариш параметр  $B$ , аралашма ҳажми ўзгариш коэффициентини ва бошқаларга қўллаган ҳолда фойдаланилади. Булар орасида ўтиш талаб қилинади.

Масалан, реакторнинг унуми  $U$  ва хом ашё таркиби берилган (асосий реагент  $C_0$  микдори). Айланишнинг берилган даражаси  $x$  да реактор ҳажми  $v_p$  (ёки маҳсулот чиқиши  $E$ ) ни топиш керак. Реактор ҳисоби унинг модели бўйича бажарилади, бунда реакциянинг шартли вақти  $t$ ,  $C_0$  ва бошқа параметрлар тегишлича ўлчамларда ҳисобга олинади. Унум  $U$  реактор юкламаси  $V_0$  билан, бошланғич концентрацияси  $C_0$ , айланиш даражаси  $x$  ва стехиометрик коэффициентлар  $v_A$  ва  $v_R$  билан ушбу нисбат оркали боғлиқдир:  $U = V_0 C_0 x v_A / v_R$  (агар яна селективлик  $S$  берилган бўлса, унда  $(U = V_0 C_0 x S v_A / v_R)$  дир, бу ҳолда реакторга тушувчи юкламани аниқлаш мумкин:  $V_0 = U / V_0 C_0 v_A / v_R$ .

Бунда  $v_0$  ни ҳисоблаганда ўлчамларга аҳамият бериш керак ва қайта ҳисоблашда керакли коэффицентларни киритиш зарур бўлади.

$C_0$  ва  $x$  ни билган ҳолда контактнинг шартли вақтини ҳисоблайдилар. Юклама  $v_0$  олдин ҳисоблаб қўйилади ва реакторнинг керакли ҳажми  $v_p = V_0 \tau$  дир.

Кўрсатилган қоидаларга қунт билан қараш ва ҳисобларда эҳтиёт бўлиш талаб этилади.

### 2.9.2. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаш

Оптимал деганда «энг яхши» маъносини тушуниш керак бўлади. «Оптимал режим», «оптимал реактор» дейилганда қайси ҳолатда энг яхши, қайси кўрсаткич энг катта аҳамиятли эканлигини билиш (талаб этилади. Бундай кўрсаткичлар сифатида реактор ҳажми, айланиш даражаси, маҳсулот чиқиши, жараён селективлиги ва бошқалар бўлиши мумкинлиги туфайли оптимал режимни аниқлаш вазифалари ҳам бир нечта бўлиши табиий (қайси кўрсаткич оптималлаштирилаётганлигига ҳам боғлиқ). Оптималлаштириш вазифаси жараён ва реакторни тайёрлашнинг деярли ҳар бир босқичида келиб чиқади. Масалан, катализатор ишлаб чиқаришда ёки танлашда оптимал ғовак структура аниқланади, бунда катализатор донасида максимал айланиш тезлиги ҳисобга олинади. Реактор танлаб, оптимал концентрация ва температура аниқланади, бунда максимал айланиш ёки унда маҳсулот чиқиши шундай бўлсин. Реактор учун минимал харажатлар қилинган ҳолда оптимал конструктив ўлчамлар топилади. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаштириш кўп вариантли вазифалардан эканлигини эслатиб ўтамиз.

Оптималлаштириш – бирор қандайдир функциянинг оптималлаштириш критерийси маълум миқдорда ўзгарувчанлигига йўл берадиган экстремал катталиги (минимал ёки максимал)ни тенгламалар ёки тенгсизлик билан аниқлашдир.

Оптималлаштириш вазифаси – тўла равишда математик амалдир. Жараён бўйича тажрибалар ёки ҳисоблар ўтказиб, мана бу вариант оптимал, деб бўлмайди. Танланган вариант қандайдир талабларга жавоб беради (кўпинча интуитив ҳолатда) ёки ишлаб

чиқарувчининг хошишни қондиради. Буни хали оптималлаштириш деб бўлмайди.

Оптималлаштириш математик амал сифатида вазифанинг қўйилиши (формулировкаси) ва унинг ечимини ўз ичига олади.

**Оптималлаштириш вазифасининг қўйилиши** қуйидагиларни кўзда тутлади.

1. Оптималлаштириш критерийси  $F$  ни баҳолаб, унинг экстремал катталигини топиш керак бўлади. Юқорида айтилганидек, тадқиқот ёки ишланма босқичларига боғлиқ равишда *турлича критерийлар* танланиши мумкин. Бу жараённинг максимал ёки минимал миқдордаги бирор кўрсаткичи, яъни яхшиси бўлиши мумкин. Биргина критерийни танлаш мақсадлидир, акс ҳолда кўп критерийлар бўлса мослашиш бўлмайди. Бир вақтнинг ўзида максимал айланиш билан реакторнинг ҳажми минимал бўлиши (оптималлаштиришнинг икки критерийси) мумкин эмас. Биринчи шарт учун катта реактор, иккинчиси учун эса кичик даражадаги айланиш зарур бўлади.

2. Шундай ўзгарувчиларни танлаш керакки, унда критерий  $F$  экстримал қийматга эга бўлсин. Бу жараён шароитлари ёки унинг параметрлари бўлиб, уларни алмаштириш мумкин. Уларни бошқарувчи параметрлар деб атайдилар ва  $u$  ҳарфи билан ифодалядилар.

3. Оптималлаштириш критерийси  $F$  нинг бошқариш параметрлари  $u$  билан математик боғланишини, яъни  $F(u)$  нинг боғлиқлигини аниқлаш. Оптималлаштириш критерийси функционал боғланиш  $F(x,u)$  орқали берилади.

Шундай қилиб оптималлаштириш вазифаси қуйидаги кўринишда ифодаланади:

$$F(x, u) = \text{extr}(u); \quad (2.169)$$

$$f(x) = 0. \quad (2.169 a)$$

4. Ўзгарувчиларга қўйиладиган чекланишларни аниқлаш. Масалан, температура иссиқликка чидамлилиқ борасида материал турига боғлиқлиги, концентрация унинг ўзидан-ўзи ўт олиш чегарасидан паст бўлиши, селективлик берилгандан паст бўлмаслиги каби ва бошқа талабларга қаралади. Шу боис оптималлаштириш вазифаси тенгсизликлар билан тўлдирилди:

$$u_{\min} \leq u \leq u_{\max}; \quad x_{\min} \leq x \leq x_{\max}. \quad (2.169 б)$$



Масалан,  $T \leq T_{\max}$ ;  $C_{\text{ак}} \geq C \geq C_{\text{аю}}$  ( $C_{\text{ак}}$ ,  $C_{\text{аю}}$  – куйи ва юкори алангаланиш чегаралари);  $S > S_{\min}$  ва х.к.

(2.169) – (2.169 б) тенгламалари оптималлаштиришнинг умумий вазифаси қўйилишидир.

**Оптималлаштириш вазифаси ечими** (2.169) нинг шартларининг қўшимча боғларда (2.169 б) ва чекланишларда (2.169, б)  $u$  нинг қийматини аниқлашдир. Умумий ҳолда ечимни функция экстремумини аниқлаш орқали бажарилади:

$$\partial F(x, u) / \partial u = 0$$

Мазкур тенглама билан ҳақиқий ечимни топиш ҳар доим ҳам амалга ошавсрмайди. Энди кимёвий реактордаги жараёни чуқурроқ анализ қилишнинг бир неча вазифасини кўриб чиқамиз.

**Назарий оптималлаштириш.** Кимёвий жараён ифодалангач (асосан кинетик модели), назарий оптималлаштириш ўтказилади. Айланиш тезлиги реагентлар концентрацияси билан температурага боғлиқ бўлади. Айланиш пайтида реакция аралашма таркиби ўзгаради, савол келиб чиқади: реакция ўта бориши билан температурани қандай ўзгартириш керакки, берилган айланиш максимал интенсивлик билан ўтказилсин. Оптималлаштириш критерийси деб  $\tau$  олинади, бошқарувчи параметр эса  $T$  дир:

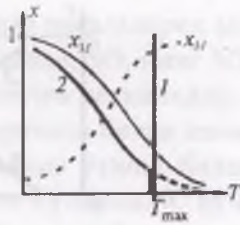
$$F(u) \equiv \tau(T) = \int_0^x dx / r(x, T); T \leq T_{\max}. \quad (2.170)$$

**Оддий қайтмас қайтар реакциялар.** Оддий реакция ўтувчи жараёнда барча компонентлар концентрациялари реакция стехиометриясига қараб ўзгаради ва реакция аралашма таркиби биргина мустақил ўзгарувчи – асосий компонентнинг айланиш даражаси  $x$ , бу бошқа ўзгарувчиларга боғлиқ эмас. Бундай жараёни боғланмаган жараён деб атайдилар. Жараёнинг максимал интенсивлиги (минимал  $\tau$  айланиш тезлиги  $x$  нинг ҳар бир қийматида максимал бўлгандагина эришилади.

Оддий қайтмас ва қайтар эндотермик реакциялар тезлиги температура билан ўсади (2.15, а ва 2.19, а-расмларга қаранг). Унинг максимал қийматига максимал бўлувчи температура  $T_{\max}$  да эришилади. Мана шу жараёнинг оптимал температурасидир:  $T_{\text{опт}} = T_{\max}$  ( $x$  нинг ихтиёрий қийматида). Тегишлича боғланиш  $T_{\text{опт}}(x)$  бу реакци-



2.71-расм. Оддий реакциялар учун оптимал температуралар: 1 – қайтар экзотермик ва қайтмас; 2 – қайтар ва эндотермик (пунктир);  $x_m$  – реакциялар учун мувозанатдаги айланиш даражаси.

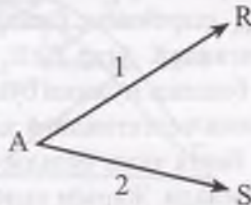


ялар учун 2.71-расмдаги 1 тўғри чизиқ билан кўрсатилган.  $x$  максимал температурада мувозанатдаги қийматдан юкори бўла олмайди, бу мазкур расмдаги  $T_{max}$   $x_p$  билан кесишидан топилади.  $x$  нинг бу қийматлари учун счим йўқдир. Қайтар экзотермик реакция тезлиги температурага экстримал боғлиқдир (2.18, а-расмга қаранг).

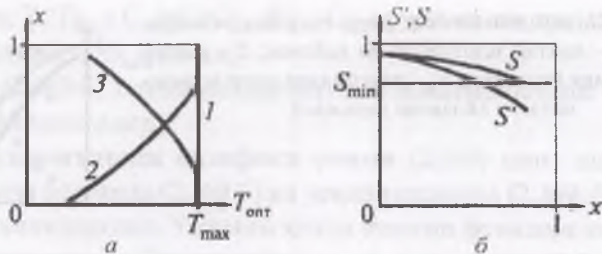
$T_{opt}$  қийматлари максимал реакция тезлигида  $x$  кўпайиши билан камаяди, бу 2.18, б-расмда ва 2.71-расмда қайтарилган (2 эгри чизиқ).  $T \leq T_{max}$  бўлиб чекланилганда аввалига  $T_{opt} = T_{max}$  бўлади ва кейин камаяди.

Айланишнинг мураккаб схемаси учун максимал интенсивликни аниқлашда жараён селективлигининг компонент бўйича чекланишини кўшиш керак бўлади, у  $R$  билан белгиланади:  $S \geq S_{min}$ . Бу ерда селективликка бўлган чекланиш бажарилмаслиги мумкин. *Боғланган жараён* – унинг икки кўрсаткичи ( $x$  ва  $S$ ) жараёнда ўзаро боғлиқдир. Оптималлаштиришнинг бу вазифасини аниқроқ бажариш учун махсус математик аппарат зарур бўлади. Бу ерда фақат натижани келтирамиз ва айланишнинг катталиги оптимал температура билан ўзгариш характерини тушунтирамиз.

Айланишнинг параллел схемаси:



Агар хусусий реакциялар активланиш реакциялари  $E_1$  ва  $E_2$  лар бир-бири билан  $E_1 > E_2$  нисбатда боғланган бўлса, унда температура ортиши билан интенсивлик ҳам, жараён селективлиги ҳам яхшиланади, яъни  $T_{opt} = T_{max}$  (2.72, а-расмдаги 1-тўғри чизиқ). Агар  $E_1 < E_2$



2.72-расм. Оптимал температура  $T_{\text{опт}}$  (а)нинг параллел (1,2) ва кетма-кет (1,3) айланиш схемалари учун ( $1-E_1 > E_2$ ;  $2, 3-E_1 < E_2$ ) ва интеграл  $S$  ва дифференциал  $S'$  селективликлар (б) жараёндалигининг параллел схемаси учун кўрсатилган.

бўлса, унда  $T$  нинг ошуви жараённинг интенсивлигига олиб келадию, селективлигига салбий таъсир кўрсатади. Бу ҳолда, аввалига концентрация ва шу боис айланиш тезлиги юқорилигида интенсивлик камайиши ҳисобига селективликдан ютиш мумкин. Айланиш вақтида ( $x$  ортганда) айланиш тезлиги пасая бориши ҳисобига температура оширилади, бу селективликдан ютказилиши ҳисобига боради.  $S$  нинг интеграл қиймати  $S_{\text{мин}}$  дан кам бўлмайди. Оптимал температура  $T_{\text{опт}}$ -ўсиб боради (2.72, а-расмдаги 2 эгри чизик. Дифференциал  $S$  ва интеграл селективлик  $S$  ларнинг ўзгариши 2.72, б-расмда кўрсатилган).

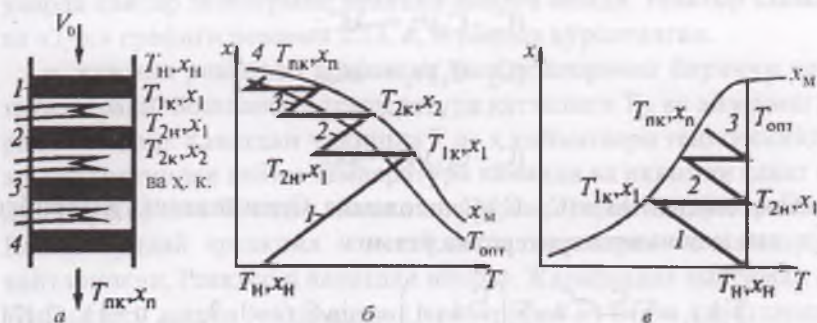
**Айланишнинг кетма-кет схемаси:**  $A \xrightarrow{1} R \xrightarrow{2} S$ .

Агар  $E_1 > E_2$  бўлса, унда оптимал температура параллел схеманики сингари максималга тенг бўлади:  $T_{\text{опт}} = T_{\text{макс}}$  (2.72-расмдаги 1 тўғри чизик). Кетма-кет схемада оралик маҳсулот  $R$  бўйича жараёнда реакция ўтган сари камая бориши туфайли (2.50-расмга қаранг), унда айланиш даражаси  $S \geq S_{\text{мин}}$  шартининг бажарилиши 2.72, б-расмда кўрсатилганидек, чеклангандир. Агар  $E_1 < E_2$  бўлса, унда жараённи минимал температурада бошлаш мумкин бўлади. Айланиш тезлиги максимал бўлади. Айланиш селективлиги ҳали оралик компонент  $R$  йиғилмаганлиги боис бирга яқин бўлади. У йиғилган сари температура камайтириб борилади. Жараён интенсивлиги пасайиши  $R$  нинг  $S$  га айланишининг тўхташи билан боради ( $E_1 > E_1$ ), яъни селективликда ютилади. Жараён охиридаги интенсивликнинг пасайиши бошидаги юқорилиги билан компенсацияланади. Жараёнда  $T_{\text{опт}}$ ,  $S$  ва  $S'$  ларнинг ўзгариши 2.72-расмда кўрсатилган. Назарий оптимал-

лаштириш реактор типини танлашда принципал масалаларни ҳал қилишга ёрдам қилишини эслатиб ўтамиз. Масалан,  $\text{SO}_2$  нинг  $\text{SO}_3$  гача оксидланиши – бу қайтар экзотермик каталитик реакциядир.

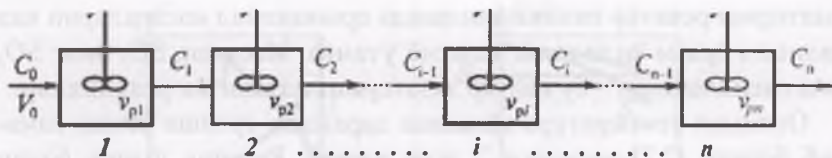
Оптимал температура айланиш даражаси ортиши билан камайиб боради (2.71-расмдаги 2 эгри чизик). Реакция ўтиши билан реактордаги температура ҳам камайиб бориши кузатилади. Бунга фақат оралик холда совутиш билан ишлайдиган кўп қаватли реакторлардагина эришилади. Реактор схемаси 2.73, а-расмда кўрсатилган. «Т-х» графикда қаватдаги адиабатик жараёнда қия холдаги тўғри чизикдир (2.61-расм ва 2.160 тенгламага қаранг). Иссиқлик алмаштиргичдаги қаватлар орасида температура пасаяди, айланиш бўлмайди – х ўзгармайди. «Т-х» координаталарида иссиқлик алмаштиргичдаги жараён горизонтал чизик билан ифодаланади. Жараён режими кўп қаватли реакторда – графикдаги синик чизикдир (2.73, б-расм). У Топт эгри чизиғи атрофида жойлашади ва температура қаватдан-қаватга сари пасаяди. Шундай аппарат типини эндотермик жараён учун ҳам қўллаш мумкин (синтетик каучук саноатида мономерларни ўглеводородлардан дегидрирлаб олишда), қаватлар оралиғидаги оқим иситилади ва температура максимал бўлиши керак (2.73, в-расм).

**Реакторларни оптималлаштириш.** Реакторда иссиқлик алмашиниш шароитлари, реагентларни узатиш унинг конструкциясига қараб аниқланади, бунда жараён кўрсаткичларини яхшиловчи ре-



2.73-расм. Реактор танлаш ва унинг режимини оптималлаштиришга доир: оралик иссиқлик алмаштиргичларга эга кўп қаватли реактор (а); «Т-х» графиклари қайтар экзотермик (б) ва эндотермик (в) реакциялар учун;  $x_n$  – айланишнинг мувозанатдаги даражалари;  $T_{опт}$  – оптимал температуралар.





2.74-расм. Идеал аралашув реакторлар каскади.

жимларни танлаш лозим бўлади. Жараённинг математик нфодасига эга бўла туриб ва оптималлаштириш усулларини ишга солиб, бунни амалга ошириш мумкин бўлади. Оптимал режимни таҳлил қилиш мумкин бўлган баъзи мисолларни кўриб ўтамыз.

**Бир хил температурали идеал аралашув реакторлар каскади.** Схема ва керакли белгилар 2.74-расмда кўрсатилган. Бундай схема суюқ фазали реакторларнинг кетма-кетлиги ёки катализаторнинг псевдосуюқланган кўп қаватли реакторлар учун характерлидир. Реакторларни танлаганда улар ҳажми кичикроқ бўлишига эришиш керак, яъни  $\sum v_{pi} = \min$ . Юклама  $v_0$ , бошланғич  $C_0$  ва охириги  $C_n$  концентрациялар берилган.  $v_p = v_{0\tau}$  бўлганлигидан оптималлаштириш критерийси  $\sum v_{pi}$  ни  $\sum \tau_i = \min$  га алмаштириш мумкин.

Бошқарувчи ўзгарувчилар сифатида ҳар бир реактордан кейинги концентрациялар бўлган  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}$  ( $C_n = C_0$  – берилган) ларни танлаймиз. Температура барча реакторларда бир хил бўлиб, тезлик константалари  $k$  ҳам тенг деб олинади, шу боис:

$$\begin{aligned} (C_1 - C_0)/\tau_1 &= -kC_1; \\ (C_2 - C_1)/\tau_2 &= -kC_2; \\ &\dots\dots\dots \\ (C_i - C_{i-1})/\tau_i &= -kC_i; \end{aligned}$$

Системадан  $-k\tau_i = (C_i - C_{i-1})/C_i$  ни оламиз. Оптималлаш критерийси  $\sum_i \tau_i$  дан эквивалент критерийга ўтамыз:

$$\sum_i k\tau_i = \sum_i \frac{C_{i-1} - C_i}{C_i} = \sum_i \left( \frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) = \min C_i \quad (i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (2.171)$$

Шундай қилиб масалани ечиш учун  $n-1$  номаълумни топиш керак. (2.171) функция экстремумига қуйидаги система жавоб беради:



$$\frac{\partial}{\partial C_i} \sum k \tau_i = \frac{\partial}{\partial C_i} \sum \left( \frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) = 0; \quad i=1, 2, \dots, n-1 \quad (2.172)$$

Ҳар бир  $C_i$  да  $i$  даги  $\tau$  ва  $(i+1)$ даги реактор боғлиқлиги билан характерланади, яъни иккита кўпайтма йиғинди белгиси сифатида олинади. Бу (2.172) ечимини энгиллаштиради:

$$\frac{\partial}{\partial C_i} \sum \left[ \left( \frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 \right) + \left( \frac{C_i}{C_{i+1}} - 1 \right) \right] = -\frac{C_{i-1}}{C_i^2} + \frac{1}{C_{i+1}} = 0$$

сўнгги тенгламадан эса:

$$\frac{C_{i-1}}{C_i} = \frac{C_i}{C_{i+1}} \quad \text{ёки} \quad \frac{C_{i-1}}{C_i} - 1 = \frac{C_i}{C_{i+1}} - 1, \quad \text{ёки} \quad k\tau_i = r\tau_i + 1, \quad (2.173)$$

ҳамда нисбат келиб чиқади:

$$C_{i+1} = C_i^2 / C_{i-1}; \quad i=1, 2, 3, \dots, n-1 \quad (2.174)$$

Таҳлил натижаси қуйидагичадир. (2.173) дан барча реакторлар тенглиги кўринади;  $v_{p1} = v_{p2} = \dots = v_{pn}$ . Бу фақат биринчи тартибли реакциялар учундир. Айланиш кинетикаси ўзгачароқ бўлса, унда оптимал бўлиб, реакторлар ҳажмининг ҳар хиллиги ҳисобга олинади: реакция тартиби биринчидан юкори бўлганда ортиб борувчи ( $v_{p1} < v_{p2} < v_{p3} \dots$ ), тартиби биринчидан кам бўлса, унда ( $v_{p1} > v_{p2} > v_{p3} \dots$ ) камаювчи ҳисобланади.

**Оралик иссиқлик алмаштиргичли адиабатик реакторлар каскади.** Бундай турдагиларга олтингугурт диоксидининг оксиди, аммиак синтези, углерод оксиди конверсияси ва реакторлар киради, уларда қайтар экзотермик реакция амалга ошади. Реактор схемаси ва «Т-х» графиги режими 2.73, а, б-расмда кўрсатилган.

$v_0$  ҳажмли реакцион аралашма катализаторнинг биринчи қавати киради. Бошланғич температура катталиги  $T_{16}$  ва айланиш даражаси  $x$  дир. Қаватдан чиқишда  $T$  ва  $x$  қийматлари тенг. Иссиқлик алмаштиргичдан кейин температура камаяди ва иккинчи қават олдида  $T_2$  б га тенг бўлади, айланиш даражаси табиийки, ўзгармайди. Кейин бундай «реакция – иссиқлик алмашинув» кетма-кетлиги қайтарилади. Реактор  $n$  қаватдан иборат. Жараённинг максимал интенсивлиги шарти (оптималлик критерийси  $F$ ) барча қаватлардаги катализатор ҳажми минимал бўлишидир:

$$F = \sum_i \tau_i = \min \quad (2.175)$$

бу  $x_c$  реакторда берилган айланшга эришиш демакдир.

Бошқариш параметрлари қилиб  $x_i (i=1, 2, n-1)$  ларни оламиз – хар бир қаватдаги жараёни шундай айланиш даражасида олиб бориш керак бўлади (чиқишда охириги қаватда  $x_{nc} = x_c$  деб шарт берилган) ва температура  $T_i$  хар бир қават олдида ( $i=2, \dots, n$ ; кираверишда температурада  $T_{i0}$  одатда берилади). Адиабатик жараёнинг қаватдаги ифодасидан [(2.159) ва (2.160) тенгламаларга қаранг] куйидагилар келиб чиқади.

$$\tau_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{dx}{r(x, T)} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx; \quad (2.176)$$

$$T = T_{i0} + \Delta T_{ад} (x - x_{i0}), \quad (2.177)$$

бу ерда  $f(x, T) = 1/r(x, T)$  – реакция тезлигининг тескари қиймати.

Шундай қилиб, вазифа  $2(n-1)$  нинг ўзгарувчилари  $x_i (i=1, 2, 3, \dots, n-1)$  ва  $T_{i0} (i=2, 3, \dots, n)$  ларни оптималлаш критерийсининг минимум қийматини топишга келиб тақалади (2.175). Вазифа анча оғир бўлиб, бошқаришнинг параметрлари кўп ва критерий ҳам интеграл ифодадир. Тайёргарлик таҳлилига тўхталамиз. Оптимал режимда:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial T_{i0}} = 0; \quad i=2, \dots, n; \quad (2.178 a)$$

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial x_i} = 0; \quad i=1, 2, \dots, n-1; \quad (2.178 б)$$

$T_{i0}$  қаватдаги бошланғич температурага фақат шу қаватнинг  $\tau_i$ -си боғлиқ бўлади, бу  $T_i$  б нинг интеграл ости функциясига киришидадир (2.176) ва (2.177) ларга қаранг. (2.178, а) нинг шартини куйидаги кўринишга келтираемиз:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial T_{i0}} = \frac{\partial \tau_i}{\partial T_{i0}} = \frac{\partial}{\partial T_{i0}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx = 0. \quad (2.179)$$

Параметр  $\alpha$  бўйича аниқ интегрални интеграллаш қондасини эсга соламиз:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \int_{a(\alpha)}^{b(\alpha)} f(x, \alpha) dx = f(b) \frac{db}{d\alpha} - f(a) \frac{da}{d\alpha} + \int_{a(\alpha)}^{b(\alpha)} \frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial \alpha} dx. \quad (2.180)$$

$T_{i6}$  га ўзгарувчи  $T$  боғлиқ бўлади, у интеграл ости функция  $f(x, T)$  га қиради, уни  $T_{i6}$  бўйича мураккаблиги учун интеграллаймиз. Унда (2.179) тенглама қуйидагича кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial}{\partial T_{i6}} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{\partial f}{\partial T} \frac{dT}{dT_{i6}} dx = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f_T(x, T) dx = 0, \quad (2.181)$$

бу ерда (2.17) дан  $\partial T / \partial T_{i6} = 1$  олинди,  $F_T(x, T) = \partial f(x, T) / \partial T$  лигини ҳам ҳисобга оламиз.

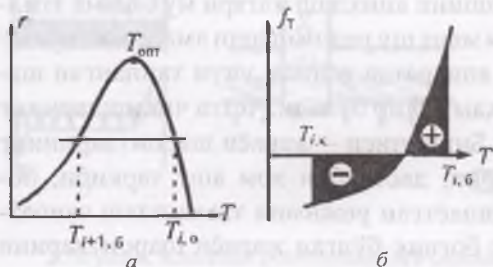
(2.181) шартининг бажарилиши мумкинлиги қайтар экзотермик реакциянинг температурага боғлиқлигидан келиб чиқади. Бу 2.75, *a*-расмдан кўринади. Функция  $f_T$  ни интеграллаш « $T$ - $x$ » графигида адиабатик тўғри чизик бўйича олиб борилади.

Чизик бўйлаб тезлик ортиб боради, унга тесқари бўлган катталик  $f(x, T)$  камаяди, яъни  $f_T < 0$  бўлади. Оптимал температурага етгач реакция тезлиги секин камаяди,  $f_T > 0$  бўлади, шу йўсинда интегралнинг нолга тенг қийматига эришиш мумкин бўлади (2.181). Лекин бунинг учун жараён албатта оптимал температуралар чизигининг чапидан бошланиши, тамомланиши ўнгдандир. Шу боис (2.178 б) тенгламадан келиб чиқади:

$$\frac{\partial \sum \tau_i}{\partial x_i} = \frac{\partial \tau_i}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{i+1}}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x, T) dx + \frac{\partial}{\partial x_i} \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x, T) dx = 0.$$

Ушбу ифода  $(i+1)$  қаватдаги температура  $x_i: T = T_{i+1,6} + \Delta T_{ад}(x-x_i)$  га боғлиқ бўлади. Дифференциаллаш қоидадан фойдаланиб, сўнгги ифодани ўзгартирамиз:

$$f(x_i, T_{i6}) - f(x_i, T_{i+1,6}) + \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{\partial f}{\partial T} \frac{dT}{dx_i} dx = 0.$$



2.75-расм. Қайтар экзотермик реакция тезлиги  $r$  (а) нинг функция  $f_T$  (б) га боғлиқлиги.

Бу ерда  $dT/dx_i = \Delta T_{a1}$  ва  $\int_{x_i}^{x_{i+1}} f_T dx = 0$  бўлгани учун сўнгги ифодадаги учинчи кўпайтма нолга тенг бўлади, шу боис оламиз:

$$f(x_i, T_{i6}) = f(x_i, T_{i+1,6}) \text{ ёки } r(x_i, T_{ix}) = r(x_i, T_{i+1,6}) \quad (2.182)$$

бундан охиргидан олдинги ва бошдагидан кейинги қаватлардаги реакция тезликлари тенглиги кўринади. Бу ҳам  $r$  нинг  $T$  га экстремал равишда боғлиқлигидан келиб чиқади (2.75,  $a$ -расмга қаранг).  $i$  қаватда тамомланувчи жараён  $T_{i6}$  да оптимал температуранинг ўнг томонида бўлиб,  $T_{i+1}$  бўлганда бошланиши ундан чапда бўлиши керак. Реактордаги оптимал режим оптимал температуралар чизиғи атрофида жойлашуви кўринади, бу табиий натижадир.

**Трубкасимон реактор.** Трубкасимон реактордаги оптималлаш унчалик кийин иш эмас. Бу ердаги биргина бошқарилувчи параметр – бу хладагент температураси  $T_x$  дир. Газ таркиби ва киришдаги температура одатда берилади. Кўпгина амалий ҳолатларда  $T_x$  ни қаватдаги максимал температурани рухсат этиладиган температурадан ошиб кетмайдиган қилиб танлайдилар.

Режимни оптималлаштириш билан бир қаторда реакторнинг асосий конструктив ўлчамлари – диаметри ва баландлиги, катализатор доналари ўлчами ва бошқаларни оптималлаштириш вазифаси ҳам келиб чиқади. Лекин булар реакторни лойиҳалаш масалаларидир.

### 2.9.3. Кимёвий реакторларнинг конструктив элементлари

Кимёвий реакторларни лойиҳалаш унда ўтадиган жараёнлар учун зарур шароитларни яратишни кўзда тутати. Режимни танлаш ва жараённинг ташкил этилишини аниқлаш илгари муҳокама этилган эди. Реактор конструкция мана шу режимларни амалга оширишни таъминлаши зарур. Реал аппаратда жараён учун танланган шароитлардан ташқари чиқиш ҳам содир бўлади. Четга чиқишларнинг икки хили кўпроқ учрайди. Биринчиси – жараён шароитларининг ўзгариб туриши оқимлар сони, дастлабки хом ашё таркиби, босим ва температурадир. Берилаётган режимни таъминлаш саноатни автоматлаштириш билан боғлиқ бўлган жараён шароитларини

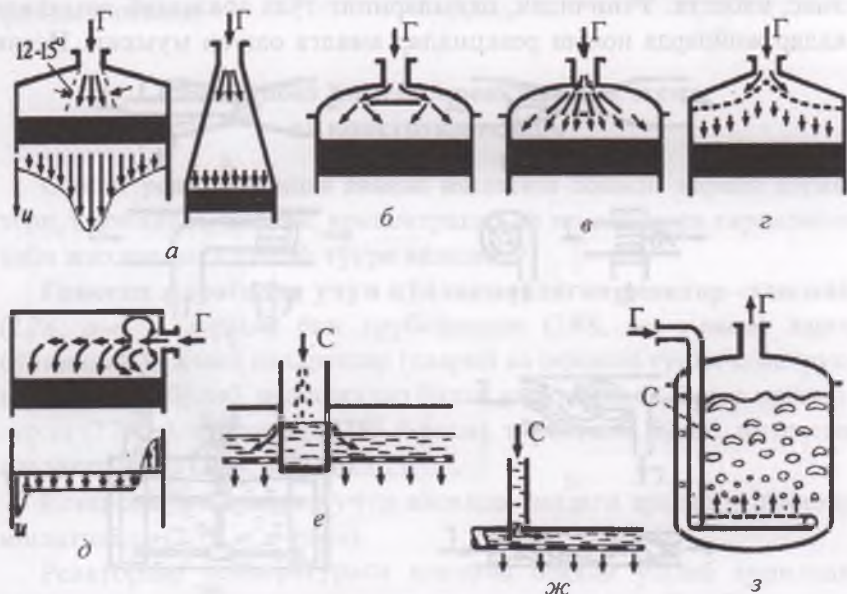


бошқариш вазифасидир. Иккинчи хил четга чиқиш (буни фазовий деб номлаймиз) реакторнинг конструктив ўзига хосликлари билан боғлиқдир.

**Реактор кесими бўйича оқим тақсимотининг бир хилмаслиги.** Булар ҳақида 2.7.4-бўлимда бир оз гапирилганди. Кираётган оқим кесим бўйича баравар тарқалмайди ва реакцион зонанинг айрим қисмлари бир хил бўлмаган шароитда ишлайди.

Бундай ҳолатдан махсус тарқатмалар (буларнинг айримлари 2.76-расмда келтирилган) қўйиш билан чиқиш мумкин.

Трубадан чиқаётган сочма очилиш бурчаги  $12^\circ$  га тенглиги маълум. Модданинг реактор кесими бўйича баравар тарқалишига эришиш учун кириш патрубкисидан жуда узун конуссимон ўтиш жойи қилиш керак (2.76, а-расм). Унинг узунлигини аппарат диаметри ва кириш патрубкиси нисбатини 5 га ва ундан ортиқ қилиб олиб ҳисоблаш мумкин бўлади. Шу боис кирувчи оқимни бўладиган «қайтарувчи» пластина 2.76, б-расм ёки бўлмаса оқимни кесим бўйича тарқатувчи конуслар системаси (2.76, в-расм) ёки профилланган тўр (2.76, г-расм) дан фойдаланиладики, бунда оқим реактор

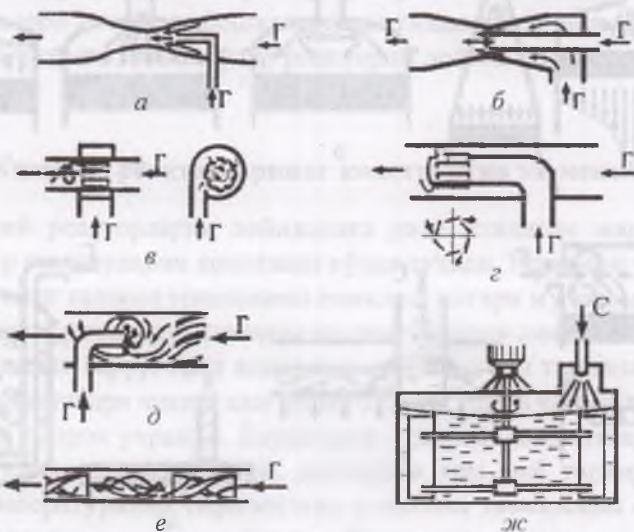


2.76-расм. Кимёвий реакторлардаги оқимлар тарқатгичлари кўриниши.

кесими бўйича текис таркалади. Ҳатто ёнаки киритгич ҳам барабар тарқалишни кафолатлай олмайди (2.76, д). Оқимлар узилишини енгиллаштириш ускуналаридан фойдаланиш ҳам фойдадан холи бўлмайди. Бундай ускуналар аэрогидродинамик моделлаш (совук физик моделларда – яъни реакциясиз шароитда) усуллари билан амалиётга киритилади.

**Оқимларнинг аралашуви** бир караганда оддий вазифага ўхшайди. Лекин икки оқим бир трубага йўналтирилганда турбулентний оқим билан 12, балки 20 калибр (диаметр)гача суриладилар. Бу, аввалам бор, катта харажатлар билан боғлиқ.

Мана қаранг,  $SO_2$  ни оксидлашда катализатор қаватлари орасида реакция аралашма совук газ билан совутилади. Реактор диаметри 12 метр. Оқимларнинг аралашуви учун 150 метрдан ортиқ масофа зарур бўлишини ҳисоблаш мумкин. Иккинчидан, қўшилаётган моддалар портловчи аралашма ҳосил қилиши ҳам мумкин (нитрат кислота ишлаб чиқаришда аммиак ҳаво билан, органик синтезда углеводородлар ҳаво билан ҳ.к). Оқимнинг қайсидир қисмида ҳам портловчи аралашмалар ҳосил бўлиб қолиши тасодифдан холи эмас, албатта. Учинчидан, оқимларнинг тўла аралашиб кетишига қадар жойларда нохуш реакциялар амалга ошуви мумкин. Исик



2.77-расм. Оқимлар ва реакторлар аралаштиргичлари.

буғнинг улгеводородлар дегидрираниши вақтида жойлардаги исиб кетиш ҳоллари учраб туради.

Оқимлар аралашувини (мисоллар 2.77-расмда кўрсатилган) газ йўлларини профиллаш орқали (оқим кириши олдида) амалга ошириш мумкин. Бунинг учун Вентури трубасидан (2.77, *а*-расм), битта тез оқимни иккинчисига инжекциялаш (2.77, *б*-расм) махсус ускуна қўйиш (2.77, *в*, *г*-расм) ва учрашувчи оқимлар бериш (2.77, *д*-расм) дан фойдаланиш мумкин. Статик аралаштиргичларни ҳам қўллаш яхши натижалар беради. Сўнгги мисолда трубада катор винтсимон қўшимчалар қўйилади. Буларнинг ҳар бири оқимни турли томонга навбатма-навбат буриб туради. Бундай ускуналарда хатто аралашиб кетувчи фазалар ҳам қаватланмайди, реакцион аралашма аралаштиргичли реакторга узатилганда ҳам жойларда концентрацион бир хилликка эришилмайди.

Форсунка орқали суюқликнинг сочилиши (2.77, *жс*-расм) реагентни кўп нуктага бўлиб киритишга шароит яратади ва унинг аппаратда асосий масса билан интенсив аралашувига эриштиради. Бундай аралаштиришларда ҳам аэрогидродинамик моделлашдан фойдаланилади.

#### **2.9.4. Саноат кимёвий реакторлари схема ва конструкциялари**

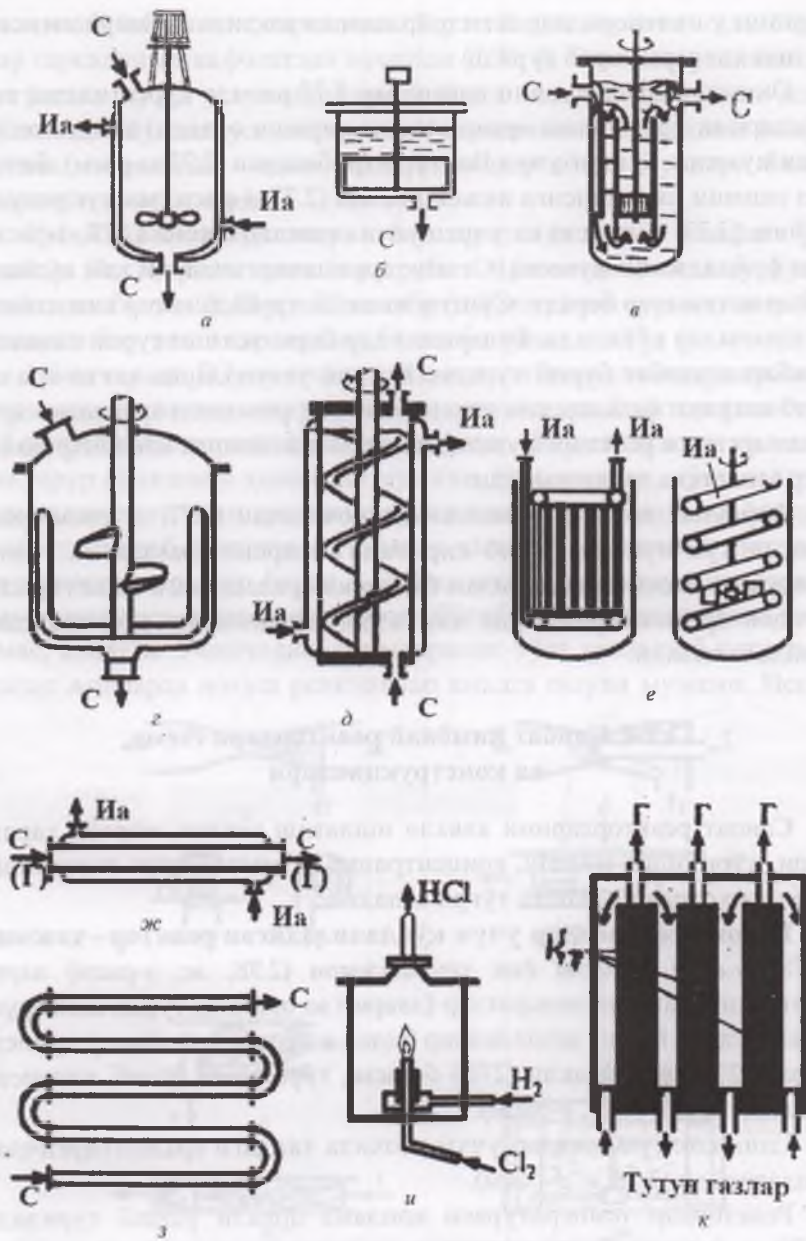
Саноат реакторларини аввало ишлатиш соҳаси, жараён характери, кўриниши, модели, концентрация ва температура тарқалиши каби жихатидан қарашга тўғри келади.

**Гомоген жараёнлар учун қўлланиладиган реактор–ҳажмий** (2.78, *а-е*, *и*, *к*-расм) ёки трубкасимон (2.78, *ж*, *з*-расм) ларга бўлинади. Ҳажмий аппаратлар (даврий ва оқимли) турли конструкцияларга эга бўлиб, мешалкалар билан жиҳозланади, булар пропеллерли (2.78, *а*), парракли (2.78 *б*-расм), турбинали бўлиб, интенсив аралаштиради (2.78, *в*-расм).

Ёпишқоқ суюқликлар учун алоҳида типдаги аралаштиргичлар ишлатилади (2.78, *а*, *д*-расм).

Реакторлар температураси қоплама орқали ушлаб турилади (2.78, *а*, *д*-расм), булар иссиқлик алмаштиргичлар бўлиб, эмсевич





2-78-расм. Гомоген жараёнлари реакторлари схемаси.



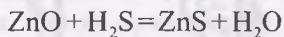
ёки «бслич гилдираклари» кўришидадир. 2.78 *a* ва *в*-расмлардаги реакторлар органик синтез жараёнларида, 2.78, *б*-даги расмдагиси бўёк саноатида, 2.78, *г* ва *д*-дагилари полимерлар ишлаб чиқаришда қўлланилади. 2.78, *а*, *б*, *г*-расмдаги реакторлар даврий жараёнлар учун мўлжалланган. 2.78, *в*, *д*-расмда схемаси келтирилган.

2.78, *жс*-расмдаги трубкасимон реакторда иссиқлик алмаштиргич копламада айланади. 2.78, *жс* ва *з*-расмдаги реакторлар 3-хорпрен (2.78, *жс*-расм) ишлаб чиқаришда, гликолла синтезида (2.78, *з*-расм) қўлланилади. Трубкасимон реакторлар нефтни қайта ишлаш саноатида терминг крекингида ишлатилади. Змеевик кўринишидаги реактор ёниш камерасига жойлаштирилади, буларни трубкасимон печлар деб юритадилар.

Хлор ва водороддан хлорид кислота (HCl) синтези аланга реакторида (2.78, *и*-расм) ўтказилади. Кокслаг печи (2.78, *к*-расм)ни гомоген каттик фазали реактор хилига киритилади. Бунда хом ашё (кўмир) кокслаг камерасига солинади, у вертикал ҳолдаги иситиш каналлари бўйлаб ҳаракатланувчи тутун газлари билан ташқаридан иситилади. Газсимон маҳсулот узлуксиз ташқарига чиқариб турилади.

**Каттик фазали гетероген жараёнлар учун реакторлар (2.79-расм).**

Оддий хилдаги реактор (2.79, *а*-расм) га каттик модда солинади, газ эса сокин қават орқали циркуляцияланади. Бундай реакторларда газ ва суюқликларнинг кўпгина адсорбцион жараёнлари, жумладан, табиий газ олтингугуртли бирикмалар («олтингугурт»дан) тозаланади. Аввало у водород сульфид ( $H_2S$ ) гача қайтарилади, кейин рух оксиди билан ютилади:



$H_2S$  нинг ютилиши қаватнинг тор қисмида, қаватма-қават амалга ошади. Дастлабки қаватлардаги сорбентлар ишлаб бўлгач, реакция зонаси давом этиб боради (2.80-расм).  $H_2S$  «ўтиб кетиши» бошлангач (сорбент уни тўла юта олмай колганидан кейин) ютгични янгилайдилар.

Бундай жараённинг камчилиги – унинг даврийлигидир. Баъзан каттик материянинг реакцияда бўлиш вақтини бараварлаштириш мақсадида механик усуллардан ҳам фойдаланишга тўғри келади. 2.79, *в*-расмдаги реакторда йўналтирувчи куракли сўрғичлар ёрда-



мида материал бир полкадан иккинчи полкага сурилади (тўкилади). Олтингургурт колчедани куйдириш реактори шундай тузилишга эга. Материал транспортер оркали ҳам узатилади (2.79, *г*-расм). Материал узлуксиз ҳаракатда бўлган ёнлама (бурчак остидаги) айланма труба (2.79, *д*) дан кенг фойдаланилади. Бундай реакторнинг классик мисоли қилиб цемент клинкери олиндиган печни кўрсатиш мумкин. Иккиламчи суперфосфат ўғити олишда ишлатиладиган аммиак нейтрализатори ҳам шу хилдаги реактор ҳисобланади.

«Газ-қаттиқ модда» хилидаги кимёвий жараёнлар қаттиқ реагент майдаланганда интенсив бориши маълум. Кўрсатилган реакторларда бу вазифани амалга ошириш кийин. Бунда заррача кичрайиши билан қатор муаммолар келиб чиқади (гидравлик қаршилик ортади, ёпишиш ва тўпланиб қолиш каби). Бундан халос бўлиш йўли псевдосуюлтирилган (2.79, *е*-расм) ёки фонтан (фаввора)ланувчи (2.79, *ж*-расм) қаватлардан қаттиқ материални махсус форсунка оркали чанглатиб, инжектирлашдан фойдаланишдир. Пневмотранспорт режими (2.79, *и*-расм) қўлланилади. Бу усулнинг умумий камчилиги, аппарат деворининг коррозияси, заррачаларнинг янада майдалашуви, чанг чиқиб газ оқимини ифлослантириши ҳисобланади. Апатитни кислота билан парчалашда гомоген жараёнида ишлатиладиган (2.78, *б*-расм) аралаштиргичли реактордан ҳам фойдаланиш самара беради.

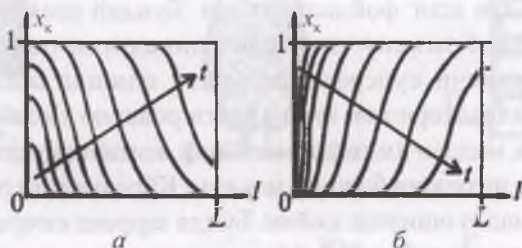
2.79, *а*-расмдаги реакторда табиий газни олтингургуртдан тозалашнинг қаттиқ  $x_k$  ва газ ҳолдаги  $x$  реагентларни ютиши (айланиши) нинг ўзгариш динамикаси кўрсатилган (2.80-расм).

**Газ-суюқлик гетероген жараёнлари учун реакторлар** (2.81-расм). Газ билан суюқликнинг ўзаро таъсири асосан уч йўл билан амалга оширилади. Газ ва суюқлик тўғри ёки карама-қарши оқимлари; газнинг суюқлик оркали барботаж (газ суюқлик ҳажмида диспергирланган) ва сув газда сочилади (суюқлик газ ҳажмида диспергирланган).

Трубкасимон реакторда (2.81, *а*-расм) суюқлик трубалар деворидан оқиб тушади ва газнинг у билан учрашуви ёки йўловчи газ оқими билан контактда бўлади. Бу яхши ташкил этилган жараён ҳисобланади, бунда трубалар юзасига тенг бўлган фазалар контакт юзаси қатъий сақланиб туради. Оқимлар яхши бўлинган ҳолда бўлади. Иссиқлик режими трубалар ҳароратини бошқариш оркали



олиб борилади. Бундай реакторлардан режим бир хил ушланиши ва тезда бошқариш мумкин бўлган ишлаб чиқариш корхоналарида фойдаланилади. Одатда бу кам тоннажли органик ва ноорганик синтезда қўлланилади.



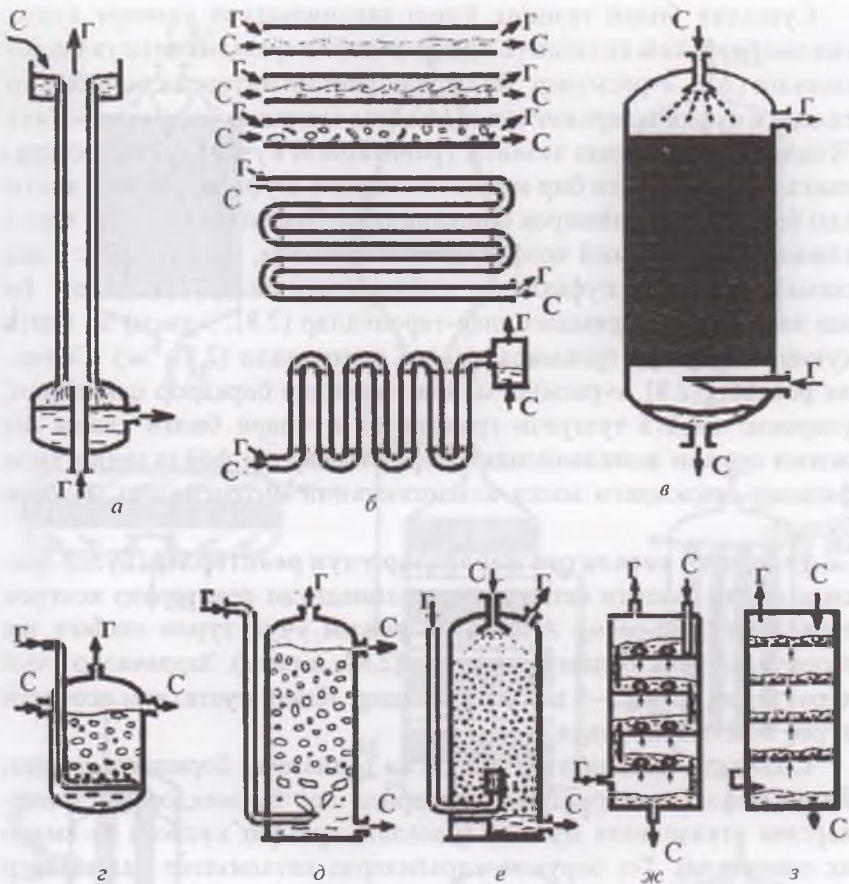
2.80-расм. 2.79, а расмдаги реакторда кўрсатилган табиий газни олтингурут водороддан тозалаш реакторида каттик  $x_c$  ва газ ҳолатдаги  $x$  реагентларнинг қават узунлиги  $l$  ва ютиш даражасининг ўзгариши.

Фазаларнинг интенсив таъсирига газ-суюқликнинг қўшма (бир йўналишда ҳаракатланувчи) оқимида эришилади (2.81, б-расм). Оқимлар тезлигига қараб туриб режимлар турлича бориши мумкин. Схемада фазаларнинг тўла қаватланиши; фазалар контакт юзалари кўпчиган ҳолда алоҳида ўтиши; яхши аралашган газ оқимида ўтиши кўрсатилган. Кўрсатилган режимлар оқимлар тезлиги кетма-кет ортиб бориши, айниқса газникида сезилади. Газ-суюқликнинг тезлашган оқимидаги тезлиги секундига бир неча метрни ташкил этиши мумкин.

Бундай реакторлар реакция учун кўп вақт талаб қилсада, компактлиги билан характерланади, булар вертикал ёки горизонтал змеевик сифатида ясалади (2.81, б-расм). Буларда юкори ҳажмли масса алмашинув коэффициентига эришилади, бу сон  $1, 2 \text{ с}^{-1}$  гача боради. Бундай хил реактор полиэтилен ва этиленни сирка альдегидгача оксидлаш саноатида қўлланилади.

Насадкали реакторлар ҳам бир мунча тарқалганлардан ҳисобланади (2.81, в-расм). Аппаратга юза қисмидан сув оқадиган майдароқ элементлар бўлган насадка (шиша, керамика, металл ва бошқалар) солинади, булар оралиғидан эса қарши оқимда газ ўтади. Насадкалар шакли турлича бўлиб, кўпроқ шарчалар, найчалар сифатида ясалади, катталиги 10–50 мм атрофида бўлади. Қаватнинг хар





2.81-расм. Газсувлик жараёнлари учун реакторлар схемаси  
(Г – газ, С – суюклик).

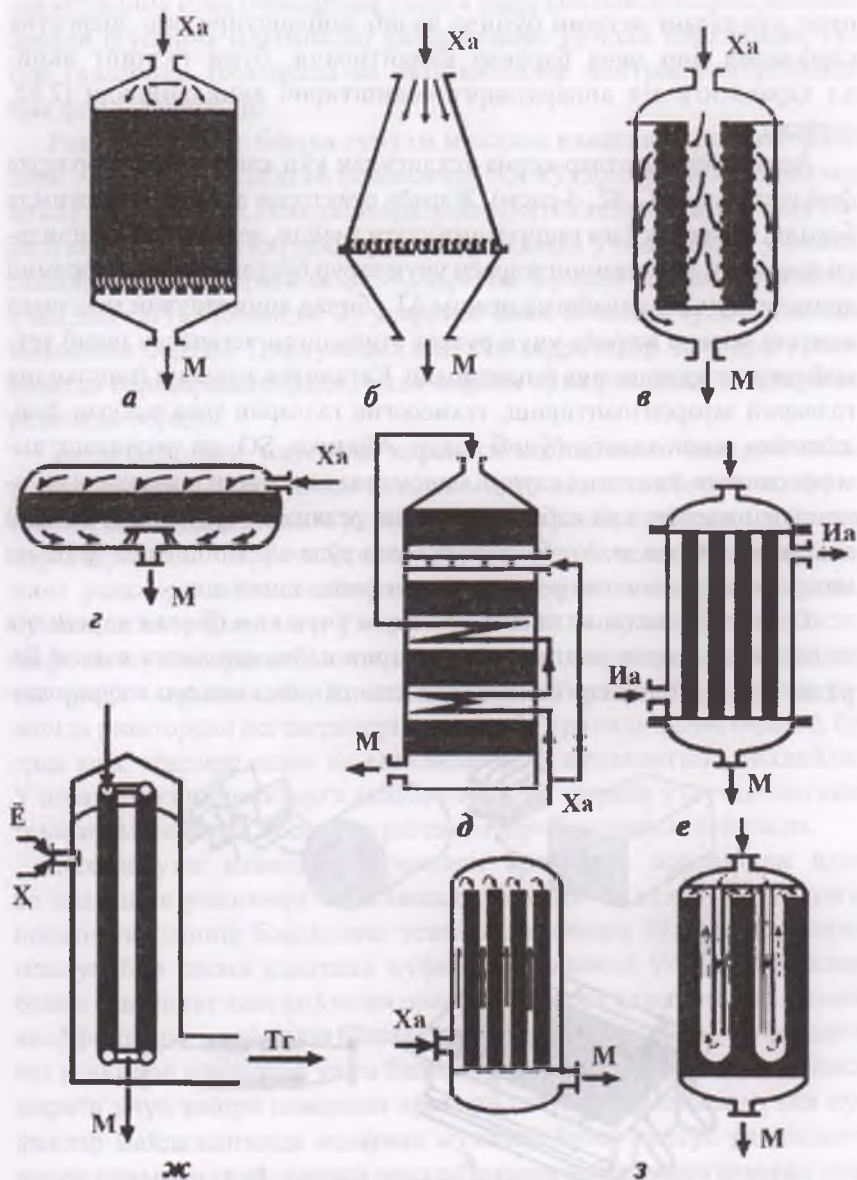
кубометрида фазалар контакт юзаси юзлаб квадрат метрни ташкил этади, фазалар таъсири шу боис интенсив боради. Ҳажмий масса алмашинув коэффициенти  $0,5 \text{ с}^{-1}$  га этади. Суюклик ўз оғирлиги туфайли оқиши оқибатида у бироз чекланган бўлади. Газ оқими кучли бўлганда суюклик унинг томонидан тез олиб кетилади. Бу «ботиб қолиш» режими бўлиб, одатда масса алмашинуви одатдагидан кўп бўлиши билан ажралади.

Суюқлик билан газнинг ўзаро таъсирлашуви газнинг суюқликдан барботаж қилиши (2.81, *г, д*-расм) ва суюқликнинг газда сочилиши (2.81, *е*-расм)дир. Таъсирлашувнинг интенсивлиги барботаждаги пуфакчаларнинг сузиб чиқиш тезлиги ва ўлчамига боғлиқ бўлади. Сузиб чиқиш тезлиги гравитацион кучлар билан чегараланганлиги туфайли бир мунча чекланган. Пуфакчалар катталиги ҳам барботажда қийинроқ бошқарилади. Эркин барботажда масса алмашинуви ҳажмий коэффициентини қиймати, одатда,  $0,3 \text{ с}^{-1}$  дан ошмайди. Майда пуфакчалар қийинчилик билан сақланади. Бу иш элаксимон таксимлагичлар-тарелкалар (2.81, *з*-расм) ва қайта қуюш жиҳозлари ёрдамида амалга оширилади (2.81, *ж*). Сочмали реактор (2.81, *е*-расм)да майда томчилар барқарор сақланади, уларнинг пастга тушувчи гравитация кучлари билан ҳамда газ оқими орқали аниқланилади. Форсункалардан фойдаланилганда фазалар орқасидаги масса алмашинувини интенсивлаш мумкин бўлади.

**Гетероген каталитик жараёнлар учун реакторлар.** Булар орасида сокин қаватли катализатор солинадиган реакторлар кенгрок тарқалган (2.82-расм). Адиабатик режим учун турли шаклга эга заррачалар реакторларга солинади (2.82, *а*-расм). Заррачалар учун характерли ўлчам 3–8 мм атрофидадир. Қават мустаҳкам асосдаги тўрға жойлаштирилади.

Солинган катализатор массаси тоннагача бориши мумкин, йирик ишлаб чиқариш корхоналарида эса бу микдор ўн тонналаргача етказилиши мумкин (масалан, сульфат кислота ва аммиак саноатида). Тез боровчи жараёнларда катализатор баландлиги унча юқори бўлмайди. Метанолни формальдагидгача оксидлашда қўлланиладиган кумуш катализатори қалинлиги бир неча сантиметрни ташкил этса, аммиакни оксидлаб нитрат кислота олишда ишлатиладиган платина катализатори тўрлари бир неча қават (10–15)дан иборат бўлади (2.82, *б*-расм). Бундай реакторларда газни тарқатишга алоҳида аҳамият берилади.

Катта ҳажмли ишлаб чиқаришда қават қалинлиги катта бўлганидан гидравлик қаршилик ҳам юқори бўлади. Буни ҳисобга олиб, газ радиал ҳолатда ўтишини таъминлайдиган катализатор қаватининг цилиндр шаклида (2.82, *в*-расм) ёки 2.82, *г*-расмдагидек жойлаштирилади. Унча катта қалинликда бўлмаган ва аппарат-



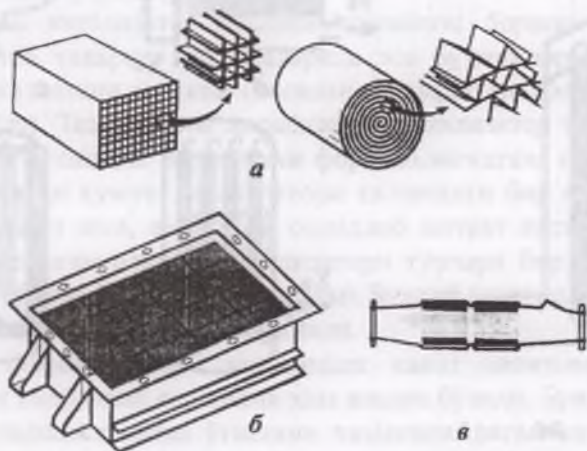
2.82-расм. кимирламас қаватли катализаторларнинг жараёнлар учун реакторлар схемаси ( $X_a$  – хом ашё,  $I_a$  – иссиқлик алмаштиргич,  $\bar{E}$  – ёкилги,  $X$  – ҳаво,  $T_r$  – тугун газлар).



нинг кўндаланг кесими бўйича чўзиб жойлаштирилиш энергетик сарфларни бир неча барабар камайтиради, буни газнинг акциал ҳаракатига эга аппаратларга солиштириб аниқланилади (2.82, *а*-расм).

Адиабатик қаватлар кетма-кетлигидан кўп қаватли реакторларда фойдаланилади (2.82, *б*-расм). Жараён реакторда адиабатик режимда боради, иссиқлик ўзга ташитгичга узатилмайди, лекин реактор ичидаги иссиқлик алмашилиш жараён учун зарур бўлган ҳарорат режимни яратади. Бундай адиабатик режим  $\Delta T_{ал}$  билан аниқланувчи максимал иситиш мазкур жараён учун рухсат этиладиган чегарадан ошиб кетмайдиган тақдирдагина ишлатилади. Каталитик тозалаш (ташландик газларни зарарсизлантириш, технологик газларни тозалаш)дан фойдаланиш замон талаби бўлиб қолди. Айниқса,  $SO_2$  ни оксидлаш, аммиак синтези, синтетик каучук мономерлари синтези, олишдаги дегидрирлаш жараёнлари каби эндотермик реакция учун муҳим амалий аҳамият касб этади. Ушбу жараёнларда тўла айланишларга эришиш мақсадида кўп қаватли реакторлардан фойдаланилади.

Параллел каналлар системаси оқим учун кам бўлган қаршилиқ билан бир қаторда чангланган газларни қайта ишлашга имкон беради. Бундай блоклар махсус тинитгичдан ёки махсус гофрирлан-



2.83-расм. Блокли катализаторлар (*а*) ва улар учун реакторлар (*б* - тутун газларни тозаловчи реактор, *в* - автомобиль ёндиргичи).

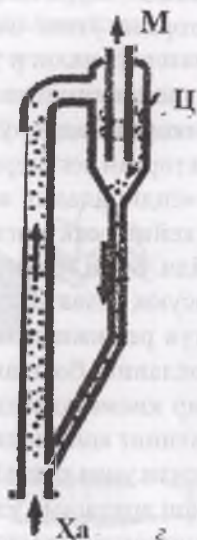
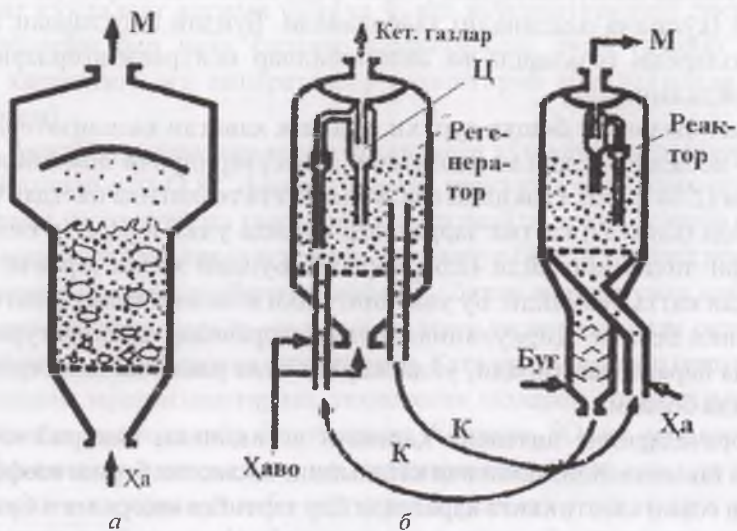


ган металллик пластиналардан уларга фаол компонентларни қоплаш орқали (кўпинча платинали) тайёрланади. Бундай блоклардан тугун газларини тозалашда ва автомобиллар нейтрализаторларида ҳам фойдаланилади.

Реакторларнинг бошқа гуруҳи муаллақ қаватли катализаторлилари – псевдосуюқланган (қайновчи) ёки кўтарилувчи номи билан маълум (2.84-расм). Реакцион аралашма катта тезлигида пастдан берилганда (каватда) каттик заррачалар оқимда учиб юради, у билан ташқари чиқиб кетмайди (2.84, *a*-расм). Бундай ҳолда заррачалар 1 мм.дан катта бўлмайди. Бу уларнинг ички юзасини тўла ишлатиш имконини беради. Циркуляцияланувчи заррачалар температурани каватда бараварлаштиради, унда жараён тўла равишда экзотермик режимда боради.

Заррачаларнинг интенсив ҳаракати иссиқликни чиқариб юборишни таъминлайди, қайновчи қатламнинг иссиқлик бериш коэффициенти сокин қаватникига қараганда бир тартибга юқорилиги билан характерланади. Заррачаларнинг ҳаракатчанлиги каттик материалнинг реактордан ўтиш оқимини ташкил этиш имконини беради, бу катализатор фаоллиги ўзгарувчи шароитда муҳим ўрин тутаети. Нефт маҳсулотларининг каталитик крекинг жараёнида катализатор тез орада «коксланади», ўз активлигини йўқотади. У узлуксиз равишда реактордан регенераторга чиқариб турилади (2.84, *b*-расм), бу ерда кокс «ёндирилади» ва катализатор ўз активлигини тиклайди. У шундан кейин реакторга қайтарилади, бу жараён узлуксизлигини таъминлайди. Буни «реактор-регенератор» системаси дейилади.

Псевдосуюқ каватдаги реакцион аралашма аралашуви идеал аралашуви режимига яқинлашади. Бундан ташқари газ тезлиги псевдосуюқланиш бошланиш тезлигидан юқори бўлганда газнинг маълум бир қисми каватдан пуфак кўринишида ўтади. Пуфаклар билан каватнинг қолган қисми орасидаги масса алмашинуви ҳажмий коэффициенти унча катта бўлмайди  $-0,5 \text{ с}^{-1}$  дан ошмайди. Пуфакдаги газ реакцион аралашма учун байпаснинг ўзидир. Бу иккала ҳодиса жараён учун юқори самарани яратмайди. Масса алмашинуви пуфаклар майдаланганда ошириш мумкин. Буни махсус равишдаги масса алмашинуви насадқаси орқали амалга оширилади (спирал сим орқали). Улар қават ҳажмининг 2–5 % ини ташкил этади. Насадқа пуфакларни майдалайди, масса алмашинуви коэффициентини  $3 \text{ с}^{-1}$



2.84-расм. Муаллак гетероген-каталитик жараён учун реакторлар схемаси  
 (Ха - хом ашё, М - маҳсулот, Ц - циклон).

гача оширади, хажмдаги реакцион аралашма кўшилиб кетишига тўскинлик килади, режимни сиқишга яқинлаштиради. Пуфакларни «ишлагишнинг» иккинчи усули – катализаторга унинг майда фракциясини кўшиш ҳисобланади. Бундай «чанг» пуфакларга қисман реакция ўтказилган жойда кўшилади.

Псевдосуюқ каватда катализатор заррачалар циркуляцияси туфайли едирилади. Газни чангдан тозалаш учун реактордан кейин циклон ўрнатилади. Каталитик крекинг жараёнидаги йирик реактор ( $d = 12$  м ва  $h = 16$  м)ларда циклонларни унинг корпус ичига жойлаштирадilar (284, б-расмга қarang).

Агар реактор конфигурацияси ўзгартирилса (конуссимон қилинса), газ оқими катализаторни йўналтирилган томонга циркуляциялайди (2.84, в-расм). Бу фаввораловчи кават бўлиб, қайновчи варианты ҳисобланади.

Агар газ оқими тезлиги каттиқ заррачаларни ўзига эргаштира оладиган даражада бўлса (оқим тезлиги олиб кетиш тезлигидан юқори), унда пневмотранспорт режими юзага келади (2.84, г-расм) ва жараён катализатор оқими юқорисида бўлади. Жараёни бундай ҳолда ташкил қилиш тез ўтувчи реакциялар учун самарали ҳисобланади – реакцион аралашманинг тор узун реактордан ўтиш вақти катта бўлмайди. Реакция иссиқлиги нафақат реакцион аралашмани иситиш (совитиш)га, балки у билан у учиб юрган катализаторни иситиш (совитиш)га сарфланиб, иссиқлик сизими газ иссиқлик сизимидан 300–600 марта юқорилиги билан характерланади. Жараён деярли изотермик режимда ўтади. Циклонда катализатор ажратилиб, алоҳида аппаратда иситилиши ёки совитилиши ва реакторга қайтарилиши мумкин. Жараёни бундай йўлда ташкил этиш янги цеолит катализаторларидан гидрокрекингда қўлланиш самарали эканлиги аниқланган.

Реакторларда жараёнларнинг асосий усулларини ташкил қилишда улар моделлари ва таҳлил қилишнинг йўллари, реакторлар конструктив элементлари қаралмайди. Буни олдинги материаллар асосида бажариш мумкин. Кимёгар технологлар учун реактор жараёнларини ишлаш ёки таҳлил қилишда асосий вазифа жараёни қай тарзда ташкил этиш, натижаларни олдиндан билиш, ютуқ ва камчиликларни кўра билишдан иборат бўлади.



### 3.1. КИРИШ

Кимёвий жараёнлар ва реакторлар ҳамда кимё технологияси назарияларининг асосий қоидаларини кимёвий ишлаб чиқаришларда кўриб чиқамиз. Бу ерда ишлаб чиқаришнинг икки гуруҳи – органик ва ноорганик маҳсулот чиқариш танланган. Органик ишлаб чиқаришнинг сон-саноксиз йўналишларидан нефтни кимёвий қайта ишлаш ва мураккаб аралашмадан қатор маҳсулотларни ажратиб олишни кузатамиз. Асосий вазифа мураккаб аралашмани ажратиш ва компонентларни зарур маҳсулотларга айлантиришдир. Оптимал реакторни танлашни этилбензол ва стирол ишлаб чиқариш мисолида кўрамиз. Оригинал энерготехнологик схеманинг асосланиши ва қурилиши стирол мисолида, иссиқлик самарадорлиги таҳлили бензин пиролизидида ҳосил бўлувчи этилен учун ўтказилди.

Ноорганик маҳсулотлар ишлаб чиқаришнинг пухта ўрганилган жараёнлари ўзгачароқ назар билан, яъни технологик схемаларнинг физик-кимёвий асосланиши, жараён ва аппаратлар алоҳида босқичлари учун кўзланганлиги билан фарқланади. Бу ерда ишлаб чиқаришнинг баъзилари тавсифланиши билан чегараланади, баъзилари эса чуқурроқ таҳлил қилинади. Масалан, бензолни алкиллашда ёки каталитик риформингда ҳосил бўлувчи ароматик углеводородларни ажратиш; «қўш контактланиши/қўш абсорбция» системасида иссиқлик алмашилиш схемасини сульфат кислота ишлаб чиқаришда танлаш; ишлаб чиқаришнинг экологик хавфсизлигини таъминловчи йўллари аниқлаш илгариги маълумотларга суянган ҳолда тўлиқ таҳлил қилиниб, иш кўрилди.

Мазкур боб материаллари олдинги боблардаги материалларда кўриб чиқилган назарий билимларни амалиёт билан боғлаш, текшириш, мустаҳкамлаш учун хизмат қилади.



## 3.2. НЕФТНИ ҚАЙТА ИШЛАШ

### 3.2.1. Нефт кимёси комплексининг умумий тавсифи

Форсча нефт сўзидан, аккадча напатум-ёниб кетиш, алангаланиш маъносини англатади. Ер қаърининг чуқинди қисмида тарқалган ўзига хос ҳидли мойсимон суюқлик бўлиб, углеводород газлари билан биргаликда 1,2–2 километр чуқурликда ҳосил бўлади. Одатда, Ер қаърининг бир неча ўн метрдан 5–6 километргача чуқурликда жойлашадиган муҳим фойдали қазилмалардан ҳисобланади. Лекин 4,5–5 километрдан пастда бўлганлари таркибида нефтнинг энгил фракциялари оз миқдорда бўлиб, асосан газлар ва газ конденсатлари йиғилган бўлади. Ер юзасига яқин хиллари қуюқ малъта, ярим қаттиқ асфальт ва бошқа кўришларда мавжуд бўлади. Булар битумлар (битумлар) деб ҳам аталади. 1985 йилги аниқланишларга кўра, нефтнинг дунёдаги захиралари миқдори 250–270 млрд тоннага боради. Россия, Буюк Британия, Норвегия, Руминия, Саудия Арабистони, Эрон, Ироқ ва бошқалар нефтга бой мамлакатлардан ҳисобланади. Нефт захиралари барча китъаларда (Антарктида бундан мустасно) мавжуд бўлиб, баравар тарқалмаганлиги билан характерланади. Нефт дунё миқёсида казиш қудуқлари ёрдамида казиб олинади. 1990 йилларда йилига дунёда 3 млрд тоннага яқин нефт казиб олинганлиги статистик маълумотлардаан маълум.

Сўнгги ўн йилликда океан сувлари остидаги конлардан бир минг етти юзтаси топилиб, уларнинг анчагинасидан фойдаланила бошланди. Океан шельфларидаги захираларда 55 миллиард тонна нефт борлиги ва бу миқдор дунёда ишлаб чиқарилаётган хом ашёнинг 30 % га яқинини ташкил қилиниши олимлар ҳисоблаб чиқишди.

Турли конлардан олинувчи нефтлар ўзларининг энгил, ўрта ва оғир дистиллятлари миқдори билан ажралувчи фракцион таркиби ҳар хиллиги билан фарқланади. Кўпчилик нефтлар 180°C гача қайновчи 15–25 % ва 45–55 % миқдордаги 300–350°C гача қайновчи 45–55 % миқдордаги фракциялардан иборат бўлади. Нефт таркибига углерод (82–87 %), водород (11–14 %), олтингургурт (0,1–7 %), азот (0,001–1,8) ва кислород (0,5–1,0 %) киради. Нефтларда алканлар

(парафинлар) миқдори 30–50 %, циклоалканлар (циклопарафинлар, нафтенлар) миқдори эса 25 дан 75 % гача боради. Арен (ароматик углеводород)лар миқдори алкан ва циклоалканларникидан бир мунча камлиги (10–20 %) билан тавсифланади.

Углеводородлар гуруҳлари орасидаги нисбат нефтлар хоссаларини белгилайди ва уларни қайта ишлаш усулларини танлашни ва олинувчи маҳсулотлар номенклатурасини такозо этади.

Нефт нефтни қайта ишлаш заводларида мотор ёкилғилари, мой ва мазут олишда асосий хом ашё ҳисобланади. Нефт ва уни қайта ишлашдан ҳосил бўлувчи маҳсулотлар полимер материаллар, пластмассалар, синтетик тола ва каучуклар, спиртлар, эритувчилар ишлаб чиқаришда ҳам хом ашё ҳисобланади. Нефт кимёсида ишлатилаётган нефт улуши XXI аср бошларида 20 % дан ошди. Нефтни қайта ишлаш ва нефт кимёси саноати интеграцияси амалга оширилди, нефт кимёси комплекслари ва катта корхоналари вужудга келди. Фарғона ва Бухоро нефтни қайта ишлаш корхоналари тўла қувват билан ишлаб турибди. Қорақалпоғистонда нефт қазиб чиқариш ва ундан фойдаланиш бўйича диққатга сазовор ишлар олиб борилди ва бу иш давом эттирилмоқда. Нефтни қайта ишлаш (дастлабки қайта ишлаш, каталитик крекинг, риформинг)ни нефт кимёси жараёнлари (пиролиз, мономерлар синтези) билан қўшиб ишлатиш нефтни чуқурроқ қайта ишлашга имкон беради, ишлаб чиқариш тизимларини ихчамлаштиради, мотор ёкилғилари ва хом ашёлар ассортиментини оширади ҳамда улар рентабеллигини юқори кўтаришга олиб келади. Ҳозирги вақтда мавжуд бўлган жараён ва улар комбинациялари нефтни 100 % миқдорда қайта ишлашга имкон бермоқда. Нефтни қайта ишлашга ишлаш комплекси тизимни танлаш нефт маҳсулотларига бўлган регионал ва умумий талаб, нефт табиати ҳамда экологик омилларга боғлиқлигини эслатиб ўтади. Ана шундай тизимлардан бирининг варианты 3.1-расмда келтирилади. Ундан кўринадики, нефтдан ўнлаб хил турли маҳсулотлар, шу жумладан, полистирол, полипропилен, полиэтилен каби юқори молекулали бирикмалар, бензин, бензол, ксилол, олтингугурт ва бошқаларни олиш мумкин. Олинган бу маҳсулотлардан қурилишда, кимё, қишлоқ хўжалиги, машинасозлик каби ва бошқа соҳаларда кенг фойдаланилади.



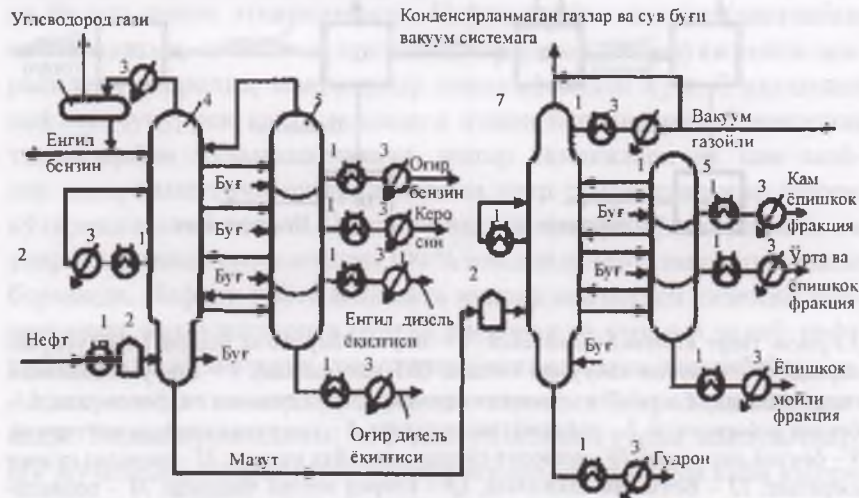


### 3.2.2. Нефтни бирламчи ҳайдаш

Нефтни қайта ишлашнинг бирламчи ва иккиламчи усуллари маълум бирламчи бўлиб нефтни ҳайдаш орқали фракцияларга ажратиш, иккиламчи жараёнларга нефтни деструктив (кимёвий) ишлаш ва нефт маҳсулотларини тозалаш қиради. Ҳайдаш фракциялари компонентларининг қайнаш температуралари интервали билан фаркланади.

Бирламчи ҳайдашга нефт ва мазутни атмосферада ҳайдаш қиради. Бу усул нефтни фракцияларга жаратиб ишлатиш ёки товар маҳсулотлари сифатида бошқа корхоналарга узатишни кўзлаб иш кўради. Бирламчи ҳайдаш тегишлича атмосферадаги трубкасимон (АТ) ёки вакуумли трубкасимон (ВТ) ёки атмосфера-вакуумли трубкасимон (АВТ) ускунасида амалга оширилади. АТ ускунасида бензин, керосин, дизель ва мазут фракцияларида мураккаброк жараёнлар амалга оширилади. Улар мазутдан олинувчи газойлли, мойли фракциялар ва гудрон иккиламчи қайта жараёнларда мойловчи мойлар, кокс, битум ва бошқа нефт маҳсулотлари олишда қўлланилади.

АВТ ускунасида нефтни бирламчи ҳайдашнинг принципиал схемаси 3.2-расмда келтирилган.



3.2-расм. Нефтни бирламчи ҳайдаш қурилмаси схемаси (АВТ ёқилги-мой): 1—иссиқлик алмаштиргич; 2—трубали печь; 3—совутгич, конденсатор-совутгич; 4—атмосфера колоннаси; 5—ҳайдаш колоннаси; 6—газ сепаратори; 7—вакуум колонна.



Қуйида Ғарбий Сибирдан олинувчи нефтнинг АВТ-6 ускунасида ҳайдалишидан ҳосил бўлган маҳсулотлар таркиби берилган (% да):

Газ ..... 1,1

Фракциялар, °С:

62 гача ..... 4,1

62–85 ..... 2,4

85–120 ..... 4,5

120–140 ..... 3,0

140–180 ..... 6,0

180–240 ..... 9,5

240–350 ..... 19,0

350–460 ..... 21,0

Гудрон ..... 28,4

Йуқотишлар ..... 1,0

**Углеводород гази** асосан пропан ва бутанлардан иборат бўлиб, эриган ҳолда қайта ишланувчи нефт таркибида бўлади. Пропан-бутан фракциясини турмуш ёқилғиси сифатида ишлатиш учун газ фракцияловчи ускуналарда индивидуал углеводородларга ажратилади.

**Бензин фракциялари** (62–180°С) изомеризациялашнинг иккинчи жараёнлари ва каталитик риформингда индивидуал углеводородлар (бензол, толуол, ксилоллар), юқори октанли автомобиль ва авиацион бензинлар олиш учун хом ашё бўлиб хизмат қилади; улар пиролизда этилен олиш учун ишлатилади.

**Керосин фракциялари** (120–240°С) тозаланиб реактив двигателлар учун ёқилғи ва лак ҳамда бўёқлар (уайт-спирит) сифатида ишлатилади.

**Дизель фракциялари** (140–340°С) дизель ёқилғиси ва депарафинлаш орқали суюқ парафинлар олишда ишлатилади.

**Мазут** – нефтни атмосферада ҳайдашдан қолган қолдиқ бўлиб, ўчоқ ёқилғиси ва иккиламчи қайта ишлаш жараёнлари хом ашёси сифатида қўлланилади (каталитик крекинг, гидрокрекинг).

**Гудрон** – мазутни вакуум ҳайдашдан қолган қолдиқ деасфальтланади, коксланади ва битум ишлаб чиқаришда қўлланилади.

Сўнгги йилларда ҳайдашнинг мужассамлашган ва каталитик жараёнлари ривожлантирилиб, комбинацияланган ускуналардан фойдаланилмоқда. Бундай ускуналар эквивалент қувватли ажратилган ускуналарга қараганда бир мунча серхаржрок ҳисобланади.

Улар оқимлар иссиқлигини анча раціонал ишлатади, сув ва электр энергиясини иқтисод қилади. ЛК-6У ускунасида нефтни ҳайдаш гидротозалаш, каталитик риформинг ва газни фракциялаш билан мужассамлаштирилган. Нефтни қайта ишлаш ускунасининг қуввати йилига 6 миллион тоннани ташкил этади.

### 3.2.3. Углеводородларнинг каталитик риформинги

Нефт кимёси комплексидаги каталитик риформингнинг асосий мақсади қуйидагилардир:

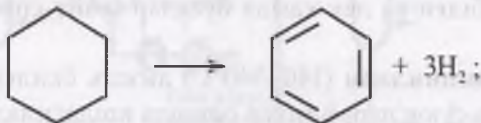
1) паст октанли бензин фракцияларини катализат-бензиннинг юқори октанли компонентларига айлантириш;

2) бензин фракцияларини катализатга айлантириб, ундан ароматик углеводородлар (бензол, толуол, этилбензол, ксилоллар)ни ажратиш.

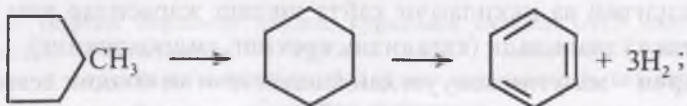
Каталитик риформинг юқори температураларда (480–530°C) водород муҳитида нисбатан паст босимда (2–4 МПа)да ва махсус катализаторлар иштирокида олиб борилади. Жараёнда ортикча миқдорда водород ҳосил бўлади, водородли газ сифатида (80 % гача  $H_2$ ) чиқариб юборилади ва гидрирлаш жараёнида ишлатилади.

Каталитик риформинг – мураккаб кимёвий жараён бўлиб, унда ароматик углеводородлар ҳосил бўлувчи реакциялар амалга ошади:

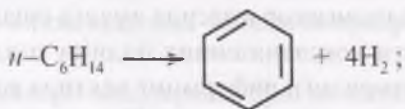
олти аъзоли нафтенлар дегидрирланади



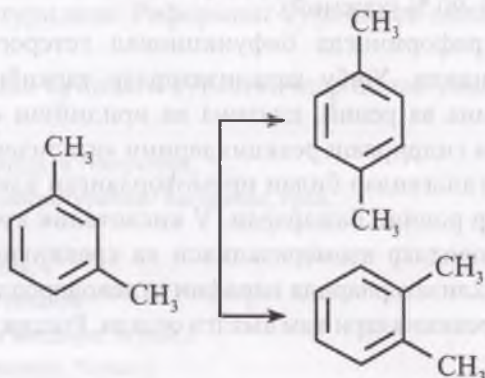
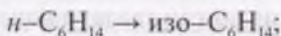
беш аъзоли нафтенлар дегидроциклизацияси



парафинлар дигидроциклизацияси (ароматланиши)



парафин ва ароматик углеводородлар изомеризацияси



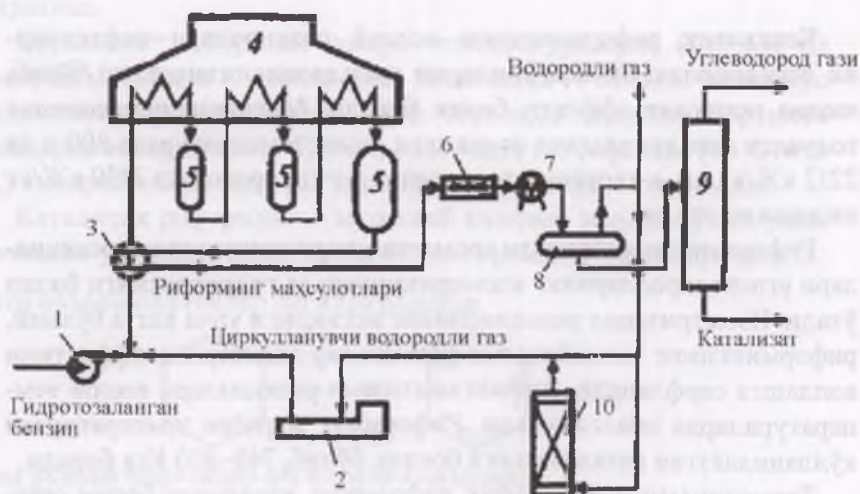
Каталитик риформингнинг асосий реакциялари—нафтенларни дегидрирлаш ва парафинларни дигидроциклизациялаш бўлиб, юқори иссиқлик эффекти билан боради. Метилциклогексаннинг толуолга дегидрирланиш иссиқлиги ишчи температурада 800 к да 2212 кЖ/кг ни, н-гептанни толуолгача дегидрирлаш эса 2539 кЖ/кг ни ташкил этади.

Риформинг жараёнидаги ароматлаштиришнинг асосий реакциялари углеводородларнинг изомеризацияси ва гидрокрекинги билан ўтади. Изомеризация реакциясининг иссиқлиги унча катта бўлмай, риформингнинг асосий қисми реакциялар эндотермик эффектини коплашга сарфланади. Ароматлаштириш реакциялари юқори температураларда амалга ошади. Риформинг жараёни температураси қўлланилаётган катализаторга боғлиқ бўлиб, 740–800 Кга боради.

Термодинамикага мувофиқ риформинг жараёнида босим оширилиши тўсқинлик қилади. Лекин водороднинг юқори босими крескингдаги қўшимча реакцияларда ҳосил бўлувчи тўйинмаган углеводородларни тўйинтиришда зарур бўлади. Водород парциал

босими кам бўлганда тўйинмаган углеводородларнинг зичланиб коксга айланиши катализатор юзасида амалга ошади. Юқори босим ва водород кўплиги коксланишнинг олдини олади. Водороднинг парциал босими юқорилиги риформнинг вақтида водородли газнинг циркуляцияси туфайли амалга ошади. Циркуляцияланаётган водородли газ ва суёқ фазали хом ашёнинг моль нисбати 6:1 дан 10:1 гача боради. Циркуляцияланган газдаги водороднинг оптимал концентрацияси 80–90 % (ҳажмий).

Каталитик риформингда бифункционал гетероген катализаторлар қўлланилади. Ушбу катализаторлар таркибида металллар (платина, платина ва рений, платина ва иридий)ни саклаб, булар дегидрирлаш ва гидрирлаш реакцияларини катализлайди. Катализаторлар учун галогенлар билан промоторланган алюминий оксиди ташитгичлар ролини бажарарди. У кислоталик хусусиятига эга бўлиб, углеводородлар изомеризацияси ва крекингини тезлатади. Риформинг катализаторларида парафин углеводородлари дигидроциклизацияси реакциялари ҳам амалга ошади. Россия корхоналари-



3.3-расм. Каталитик риформинг қурилмаси схемаси:

1 – хом ашё насоси; 2 – циркуляцион компрессор; 3 – иссиқлик алмаштиргич; 4 – кўп камерали трубкали печь; 5 – реакторлар; 6 – ҳаво совутгич; 7 – сув совутгич; 8 – сепаратор; 9 – стабилловчи колонна; 10 – адсорбер-куритгич.



да таркибида тегишлича 0,65 % ва 0,64 % платина бўлган ва  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  жойлаштирилган алюмоплатина катализаторларидан фойдаланилади.

Асосий реакциялари эндотермик бўлган каталитик риформинг жараёни адиабатик реакторларда амалга оширилади. Саноатдаги риформинг қурилмалари одатда кетма-кет ишлайдиган учта ёки тўртта реактордан иборат бўлиб, печдаги буғ-газ аралашмаси билан орада иситиб турилади. Риформинг қурилмаси схемаси 3.3-расмда келтирилган.

Қурилма иши куйидаги кўрсаткичлар билан тавсифланади:

Катализатор	АП-64
Реактор киришдаги температура, °С	480
Реакторда температуранинг пасайиши, град.	60
Босим, МПа	3,5
Ҳажмий тезлик, с <sup>-1</sup>	1,5
Циркуляция тезлиги	1800
Хом ашёдаги микдори, % (мас.)	36
Катализат чиқиши, % (мас.)	77
Катализатдаги ароматик углеводородлар микдори, % (мас.)	64

Риформинг қурилмаларидаги бензол бўйича йилига 600 минг тонна иш унумига эга аксиал реакцион аралашма ўтишга мўлжалланган адиабатик реактор корпусининг ички диаметри 3 м ва баландлиги 9,4 м га етади. Корпус углеродли пўлатдан тайёрланган бўлиб, ички футеровкаси 0,15 м қалинликдаги торкрет-бетондан ясалган. Босим пасайиши 1,6 МПа га етади. Йилига бир миллион тонналик хом ашёга мўлжалланган қурилмаларда гидравлик қаршилик цилиндрик қаватли катализатор ва газ радиал суръатда ҳаракатланувчи реактор ҳисобига амалга оширилади. Риформинг реакторларида ишлатилувчи катализатор иш давомида зичланиши маҳсулотлари (кокс) билан дезактивланади. Шу боис у даврий равишда оксидлаб, регенерациялаб турилади.

Риформинг қурилмаларида турли конструкцияли печлар қўлланилади. Икки томони нурлантирилувчи змеевика вертикал печлар саралари ҳисобланади. Водородли газ циркуляцияси электр двигателли приводга эга марказдан кочма (ёки буғ турбиналари) ёрдамида амалга оширилади.

Риформинг жараёни катализати нефт кимёси комплексни схеманинг икки альтернатив варианты бўйича қайта ишланади:

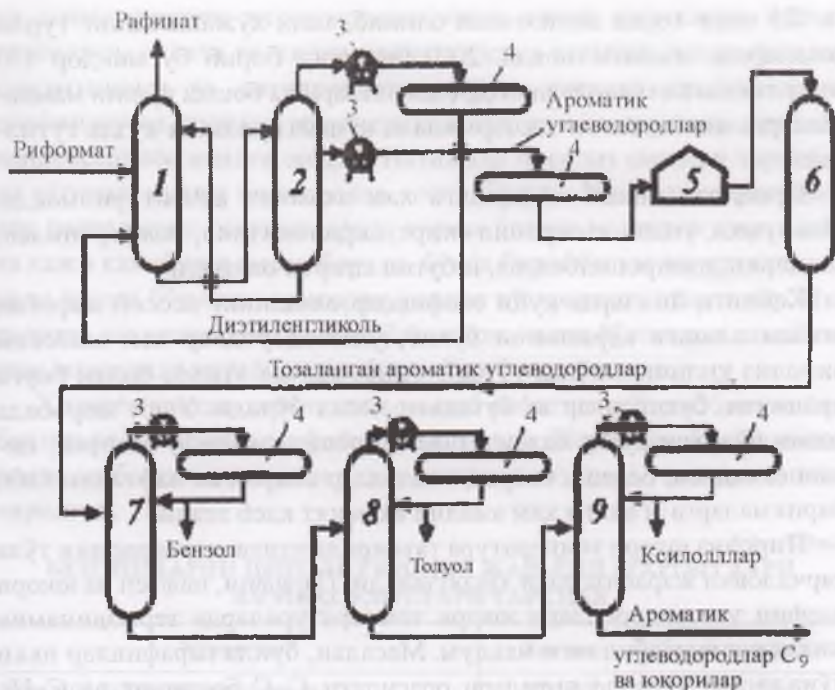
- автомобил бензини олиш;
- ароматик углеводородлар олиш (бензол, толуол, этилбензол, ксилол изомерлари).

Биринчи вариант амалга оширилишида бензин қўшимча равишда стабиллаштирилади, бунда газлар – пропан ва бутан чиқариб ташланади. Ушбу мақсад учун кўпроқ диэтиленгликоль, триэтиленгликоль ва сульфолан қўлланилади. Сўнгги вақтларда юқори концентрацияли ароматик углеводородлар олиш имконини берувчи ва юқори танлаш хусусиятига эга бўлган *N*-метилпирролидол ишлатила бошлади.

Ароматик углеводородларни экстракция қилиш схемаси 3.4-расмда келтирилган.

Эритувчидан ажратилган катализатнинг ноароматик қисми *p* а - *f* и н а т деб аталади, нормал ва изотузилишли парафин углеводородлари аралашмасидан иборат бўлади: изопарафинлар – 51,7 %, *n* – парафинлар – 36,5 %, нафтенлар – 10,7 %, ароматик углеводородлар – 1,1 %. Рафинат олефинлар ишлаб чиқаришда пиролиз хом ашёси ёки халқ хўжалигининг турли жабҳаларида қўлланилувчи эритувчилар сифатида қўлланилади.

Ароматик углеводородлар аралашмаси ректификация орқали товар ҳолдаги бензол, толуол, этилбензол ва ксилолга ажратилади. *m*-ва *p*- ксилол изомерларини ректификация билан ажратиб бўлмайди, шу боис уларнинг қотиш температуралари орасидаги катта фарқдан фойдаланган ҳолда (тегишлича минус 47,9°С ва плюс 13,3°С) паст температурали кристалланиш ишлатилади. Кейинги йилларда паст температурали кристалланиш ўрнига цеолитларда десорбцион ажратишдан ҳам фойдаланилмоқда. Саноатда амалга оширилган «Парекс» жараёни (150–180°С ва 0,6–1,0 МПа)да цеолитда *n* ва *m*-ксилолнинг ажратилиш коэффициенти 3,75 ни ташкил этадики, бу *n*-ксилолнинг адсорбцияланган хусусияти юқорилигидан дарак беради. Десорбент сифатида «Парекс» жараёнида диэтилбензол қўлланилади. Десорбциядан кейинги экстракт *n*-ксилол билан десорбент–*n*-диэтилбензол аралашмасидир. ( $T_{\text{кайн.}} = 183,6^{\circ}\text{C}$ )дан енгил ҳайдалади. Десорбент ёпик контур бўлган десорбция-ҳайдаш-десорбцияда циркуляцияланади.



3.4-расм. Ароматик углеводородлар экстракцияси қурилмаси схемаси:

1 – экстракцион колонналар; 2 – эритувчини буглатиш колоннаси; 3 – совитгичлар; 4 – идишлар (ҳажмлар); 5 – печь; 6 – адсорбент (лой, тупрок) билан тозаловчи колонна; 7 – бензол колоннаси; 8 – толуол колоннаси; 9 – ксилол колоннаси.

### 3.2.4. Углеводородлар пиролизи билан олефинлар олиш

Қуйи олефинлар (этилен ва пропилен) нефт кимёси синтезида кўп қўлланиладиган хом ашё маҳсулотларидан ҳисобланади. Булардан этилан кўп тоннажлиси бўлиб, ундан кейин пропилен ва бутиленлар туради.

Этилен ишлаб чиқариш йил сайин ўсиб бормокда. Ҳозирги пайтда дунё микёсида йилига 30 млн. тонна этилен олинмокда. Унинг маълум қисми этилспирти, полиэтилен, стирол, винилхлорид, этиленхлорид ва бошқа маҳсулотлар ишлаб чиқаришга сарфланади. Ватанимиздаги «Шўртан» кимё комплексининг ўзида йили-

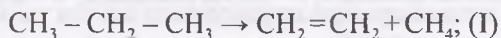


га 125 минг тонна полиэтилен олиндиб, халк хўжалигининг турли сохаларида ишлатилмоқда. 2010 йилларга бориб бу микдор 150 минг тоннага етказилади. МДХ давлатлари ва бошка кўшни мамлакатларга қилинаётган экспорт янада кўпайтирилиши кўзда тутилган.

Пропилен ишлаб чиқаришга ҳам аҳамият кучайтирилмоқда. Маълумки, ундан изопропил спирт, акрилонитрил, полпиропилен, глицерин, изопропилбензол, н-бутил спирти олинади.

Кейинги йилларда қуйи олефинлар олишнинг асосий жараёни этилен олишга қаратилган бўлиб, углеводородлар хом ашёсини пиролиз қилишни кўзда тутди. Айни вақтда этилен билан бирга пропилен, бутиленлар ва бутадиен ҳосил бўлади. Ушбу жараёнда ҳосил бўлувчи суюқ маҳсулотлар (пиролиз смоласи) изопрен, циклопентадиен, бензол, толуол, ксилоллар стирол ва нафталин каби бирикмаларга эгаллиги ҳам амалий аҳамият касб этади.

Пиролиз юқори температура таъсирида углеводородларини тўла парчаловчи жараёнлардан ҳисобланади. Парафин, нафтен ва юқори олефин углеводородлари юқори температураларда термодинамик жиҳатдан ностабиллиги маълум. Масалан, бунда парафинлар икки йўналишда углерод атомлари орасидаги С–С боғининг ва С–Н–боғининг узилиши натижасида қатор тўйинмаган ва тўйинган углеводородларни ҳосил қилади. Буни пропаннинг парчаланишида кўраимиз.



Булардан биринчи (I) реакция термодинамик жиҳатдан пухтарок ҳисобланади, бунга С – С боғи узилиши энергиясининг С–Н боғиникига қараганда камроқ эканлиги сабабдир. Иккала йўналишдаги реакциялар иссиқлик ютилиши ва ҳажмининг ортиши билан амалга ошади. Бунга юқори температура ва паст босим старлидир. Пиролиз жараёнида углеводородларнинг парциал босими хом ашёни сув буғи билан суюлтириш воситасида пасайтирилади.

Пиролизда ўтувчи иккиламчи реакциялар сони кўплиги билан характерланади. Бунда парафин занжирлари, нафтенлар ҳалқалари



ва алкилароматик углеводородларнинг алкил гурухлари изомеризацияси, олтита ва ундан ортик углерод атомига эга олефинлар циклизацияси ва дигидроциклизацияси, дненлар циклизацияси, олефинлар ва дненлар полимеризацияси, ароматик углеводородлар конденсацияси амалга ошади. Натижада пиролиз смоласи таркибида кўпгина муҳим бирикмалар ҳосил бўлади. Иккиламчи реакциялар парчаланиш реакцияларига қарши ўларок иссиқлик ажралиши ва ҳажм камайиши билан боради, бунда бироз босим оширилиши ва унча юкори бўлмаган температуранинг кўтарилиши етарлидир. Пиролизда зичланиш маҳсулоти бўлган кокс ҳосил бўлишини камайтириш мақсадида жараёнда сув буғи қўшиб ишлатилади.

Ҳозирги вақтда пиролизда хом ашё сифатида кўпроқ бензин ёки бензин-рафинатдан ҳам фойдаланилмоқда. Жараёнини ўтказиш шароити ва бензин пиролизи маҳсулотлари чиқиши 3.1-жадвалда келтирилган.

3.1-жадвал

### БЕНЗИНЛАРНИ ПИРОЛИЗ ҚИЛИШ ЖАРАЁНИ ШАРОИТЛАРИ ВА МАҲСУЛОТЛАРИ ТАРКИБИ

Кўрсаткич	Бензин	Бензин-рафинат
Хом ашё ҳайдалиш интервали, °С	52–163	58–126
Пиролиз температураси, °С	840	830
Сув буғи билан суюлтириш, % (мас.)	50	50
Реакциянинг ўтиш вақти, с	0,48	0,6
Чиқиш, % (мас.)		
H <sub>2</sub>	1,1	1,0
CH <sub>4</sub>	15,4	13,7
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,4	0,4
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	26,3	26,4
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,8	3,1
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	0,6	0,4
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	16,1	15,2
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,5	0,5
C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	4,6	3,8
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	4,6	7,0
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	–	0,1
Чуқур парчаланиш ва зичланиш маҳсулотлари (пиролиз смоласи), % (мас.)	26,6	28,4

Жадвалдан кўринадики, бу иккала жараён маҳсулотлари таркиби деярли бир бўлиб, уларнинг чиқишида озрок фарк килади. Иккинчи жараёнда метан ва этан камрок чиқади, бунинг ҳисобида диенлар чиқиши бироз микдорда ортади.

Этилен олишнинг кимёвий технологик схемаси (КТС) қуйидаги тизимларни ўз ичига олади:

Углеводородлар пиролизи;

Пиролиз газини компромлаш;

Оғир углеводородларни чиқариб юбориш;

Пиролиз газини цеолитларда қуритиш;

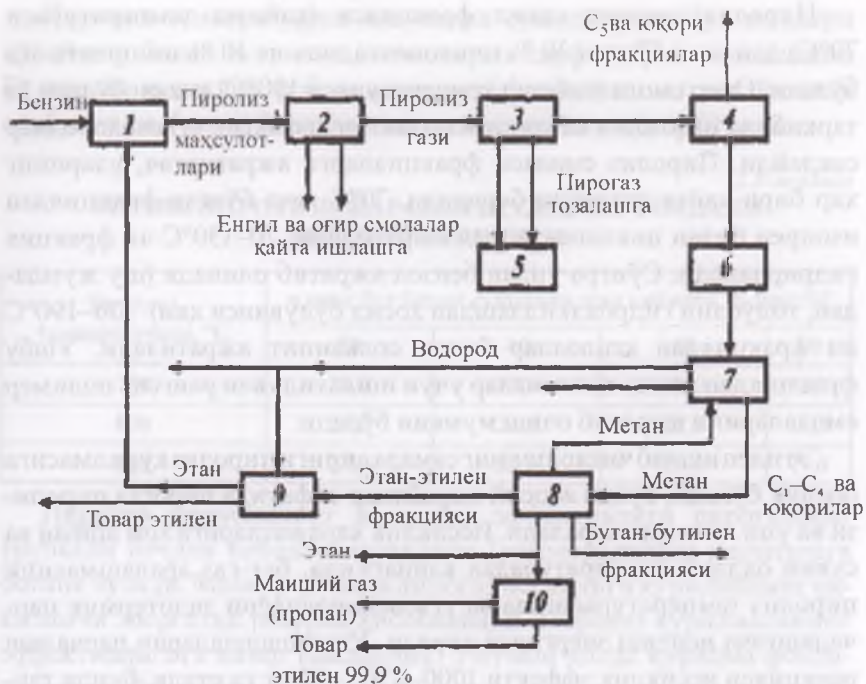
Пиролиз газини ажратиш (фракционлаш); олтингугурт водород, углерод диоксиди ва ацетиленни пиролиз газидан ажратиш.

Бензиндан этилен ва пропилен олишнинг КТС блок-схемаси 3.5-расмда келтирилган. Бунда бензин ва рециркуланувчи этан пиролизга киритилади. Пиролиз маҳсулотлари (пиролиз) бирламчи фракционлаштиришга йўналтирилади, бунда енгил ва ва оғир смолалар пиролиз газларидан ажратилади. Пиролиз газини олтингугурт ва углерод диоксидидан тозаланади, бир йўла оғир фракциялар ( $C_5$  ва юқорилар ажратилади). Қуритилган пиролиз газини бўлинади. Бунда совутиш йўли билан метан ва водород ажратиб олинади. Этан ва этилен фракцияси селектив гидрирлаш усулидан фойдаланиб, ацетилендан тозаланди, 99,9 % ли концентрацияли этилен ва этанга ажратилади. Этан пиролизга қайтарилади.

Пропан-полилен фракцияси пропилен ва пропан фракцияларига ажратилади. Пропан пиролизга қайтарилади ёки маиший турмушда қўлланиладиган суюлтирилган газга айлантирилади, пропилен эса 99,9 % ли концентрацияда полипропилен ёки бошқа нефт кимёси маҳсулотлари олишга йўналтирилади.

$C_4$  фракцияси махсус қурималарга бутилснлар ва бутадисн олиш мақсадида йўналтирилади.

Бензинлар пиролизда 20–30 % гача суюк маҳсулотлар (пиролиз смолалари) ҳосил бўлади. Йилига 300 минг тонна этилен (ЭП-300) ишлаб чиқарадиган қурималарда йилига 250–300 минг тоннага яқин суюк маҳсулотлар ҳосил бўлади. Шу боис уларни чиқинди сифатида эмас, балки қимматли маҳсулотлар олиш учун комплекс равишда ишлаш кўзда тутилади. Ҳозирги вақтда пиролиз бензол,



3.5-расм. Куйи олефинлар (этилен ва пропилен)ни олиш схемаси:

1- пиролиз; 2-бирламчи фракциялаш; 3-компримирлаш; 4-оғир углеводородларларни ажратиш; 5-пирогазни олтингугурт водород ва углеводороддиоксидидан тозалаш; 6-қуритиш; 7-водородни совутиш ва ажратиш; 8-пироллиз газини бўлиш; 9-ацетилендан тозалаш; 10-метилацетилендан тозалаш, пропан ва пропиленни ажратиш.

кислота, циклопентадиен, циклопентен, изопрен, стирол, нафталин, нефтполимер смоласи олишнинг асосий манбаларидан бири сифатида қаралади. Булар билан бир қаторда техник углерод, эритувчилар ва бошқа баъзи моддалар ҳам шу йўлда ҳосил қилинади. Россияда ишлаб чиқарилувчи бензолнинг 20 % пиролиз смоласидан олинмоқда. Бу йўлда олинувчи бензол таннархи ҳам 20-30 % арзонлашди.

Пиролиз смоласининг енгил қисмидан 6-7 % бензол, 4-5 % толуол, 2 % гача толуол, 1 % атрофида стирол ҳосил бўлади (ҳом ашё микдоридан).



Пиролиз смоласи энгил фракцияси (қайнаш температураси 70°C) дан паст бўлган 30 % циклопентадиен ва 10 % изопренга эга бўлади. Оғир смола (қайнаш температураси 190°C) юкори бўлган ўз таркибида нафталин ва конденсирланган ароматик углеводородлар саклайди. Пиролиз смоласи фракцияларга ажратилгач, уларнинг ҳар бири қайта ишлашга берилади. 70°C гача бўлган фракциядан изопрен билан циклопентадиен ажратилади, 70–130°C ли фракция гидрирланади. Сўнгра ундан бензол ажратиб олинади (шу жумладан, толуолни гидроалкиллашдан ҳосил бўлувчиси ҳам). 130–190°C ли фракциядан ксилоллар билан сольвинит ажратилади. Ушбу фракциядан лакли қопламалар учун ишлатилувчи рангсиз полимер смолаларини ажратиб олиш мумкин бўлади.

Этилен ишлаб чиқаришнинг самаралилиги пиролиз курилмасига боғлиқ бўлади, бунда асосий жараёнлар сифатида пирогаз пиролизи ва уни совитиш қаралади. Иссиқлик харажатларига хом ашёни ва сувни оддий температурадан қайнагунча, буғ-газ аралашмасини пиролиз температурасигача ва углеводородларни эндотермик парчалашгача иситиш энергияси киради. Углеводородларни парчалаш реакцияси иссиқлик эффекти 1000–2500 кЖ/кг га етади, бунда таркиб ва парчаланиш сифати ҳам ҳисобга олинади. Пиролиз жараёни учун бўладиган иссиқлик сарфи ҳаммаси бўлиб 3800–6300 кЖ/кг ни ташкил этади.

Пиролиз жараёнида парчаланиш реакцияси учун сарфланган иссиқликни компенсацияловчи иссиқлик фойдали ҳисобланади. Шу боис жараён фойдали иш коэффиценти (ФИК)ни куйидагича ифодалаймиз ( $\eta$ ):

$$\eta = \frac{Q_n}{Q} = \frac{Q_n}{(Q_n + Q_x + Q_u)}$$

бу ерда:  $Q$  – жараёнга берилган исскиликнинг умумий миқдори;  $Q_n$  – углеводородларнинг парчаланиш иссиқлиги;  $Q_x$  – хом ашёни иситишга кетган иссиқлик;  $Q_u$  – сувни иситиш, буғлатиш ва сув буғини ўта иситишга кетган иссиқлик.

$Q$  нинг қиймати хом ашё хили, температура ва буғ билан суюлтиришга боғлиқ бўлади.



Пиролиз температураси ошуви ва суюлтирувчи буг микдори кўпайиши билан иссиқлик солиштирма сарфи ҳам юқорилашади. Бу жараён иссиқлик фойдали иш коэффициентининг пасайишига олиб келади, буни 3.2-жадвал маълумотларидан кўра бўлади.

3.2-жадвал

### БЕНЗИН ПИРОЛИЗИ ЖАРАЁНИ ИССИҚЛИК ФОЙДАЛИ ИШ КОЭФФИЦИЕНТИ

Пиролиз температураси, °С	η нинг буг билан суюлтирилган қиймати, % [мас.%]			
	20	40	60	80
750	30,0	25,0	22,0	19,0
800	28,0	24,0	21,0	18,5
850	27,0	23,0	20,0	17,0

Пиролиз жараёнининг иссиқлик эффективлиги пирогазнинг трубкали печдан кейинги иссиқлиги (регенерация)ни ишлатишга боғлиқ бўлади. Мазкур ҳолатда пирогаз иссиқлиги қурилманинг иккиламчи энергетик ресурси ҳисобланади. Пиролиз қурилмасининг эффективлигига назар ташлайлик. Умумий ҳолда қурилма фойдали иш коэффициенти ( $\eta_{\text{кур}}$ ) қуйидагича кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$\eta_{\text{кур}} = \frac{(Q_{\text{II}} + Q_{\text{рег}})}{Q_{\text{умум}}},$$

бу ерда,  $Q_{\text{рег}}$  – регенерация иссиқлиги,  $Q_{\text{умум}}$  – умумий иссиқлик,  $Q_{\text{умумий}}$  қиймати қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$Q_{\text{умум}} = BQ_{\text{к}} + \Delta h_{\text{x}} G_{\text{x}} + \Delta h_{\text{сб}} G_{\text{вп}} + \Delta h_{\text{сб}} G_{\text{сб}} + \Delta h_{\text{м.с}} G_{\text{м.с}} + Q_{\text{з.з.}}$$

бу ерда  $Q_{\text{к}}$  – ёқилгининг қуйи ёниш иссиқлиги;  $B$  – пиролиз печдаги иссиқлик сарфи;  $\Delta h$  – энтальпиялар фарқи;  $G$  – тегишлича компонентлар сарфи; тенгламадаги  $\Delta h_{\text{x}} G_{\text{x}}$ ,  $\Delta h_{\text{сб}} G_{\text{сб}}$ ,  $\Delta h_{\text{м.с}} G_{\text{м.с}}$ ,  $\Delta h_{\text{б.к}} G_{\text{б.к}}$  лар тегишлича хом ашё, суюлтирувчи сув буғи, мустаҳкамловчи сув, буғнинг буғлантириш колоннаси ва бошқа аппаратларга узатиловчи иссиқлик микдори;  $Q_{\text{з.з.}}$  – иссиқликка айлан-тирилган электролитик энергия сарфи бўлиб, насослар, газ ҳайдаш ускунаси ва компрессорлар томонидан узатилган технологик оқимларникидир.

Оддий пиролиз қурилмасининг иссиқлик оқимлари ва иқти-содлилигини аниқлаймиз. Бензин пиролизи буг ва температура

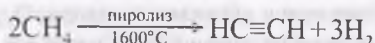
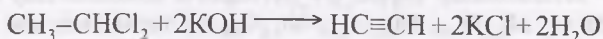
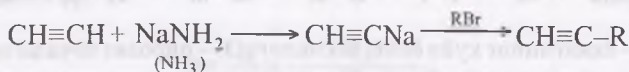
850°C (печнинг эмесвикидан чиқишда)да ўтказилади. Буг газ аралашмасини иситиш ва углеводородларни термик парчалаш учун 4810 кЖ/кг хом ашё зарур бўлади. Ёқилғи сифатида газ ажратиш қурилмасидан чикувчи  $Q_{\text{п}} = 49700$  кЖ/кг метанводородли ёқилғи, ташқарига чиқиб кетувчи тутунли газлар температураси  $t = 400^\circ\text{C}$  ва печда нурланишга 5 % атрофида йўқолиш (ёқилғининг иссиқлик сифимига қараб)ни қабул қиламиз. Печнинг фойдали иш коэффициентини тенг бўлади:

$$\eta = \frac{Q_k + q_x + q_c - (q_{\text{и.и.}} + q_{\text{нурл.}})}{Q_{\text{улу.}}} = 0,75,$$

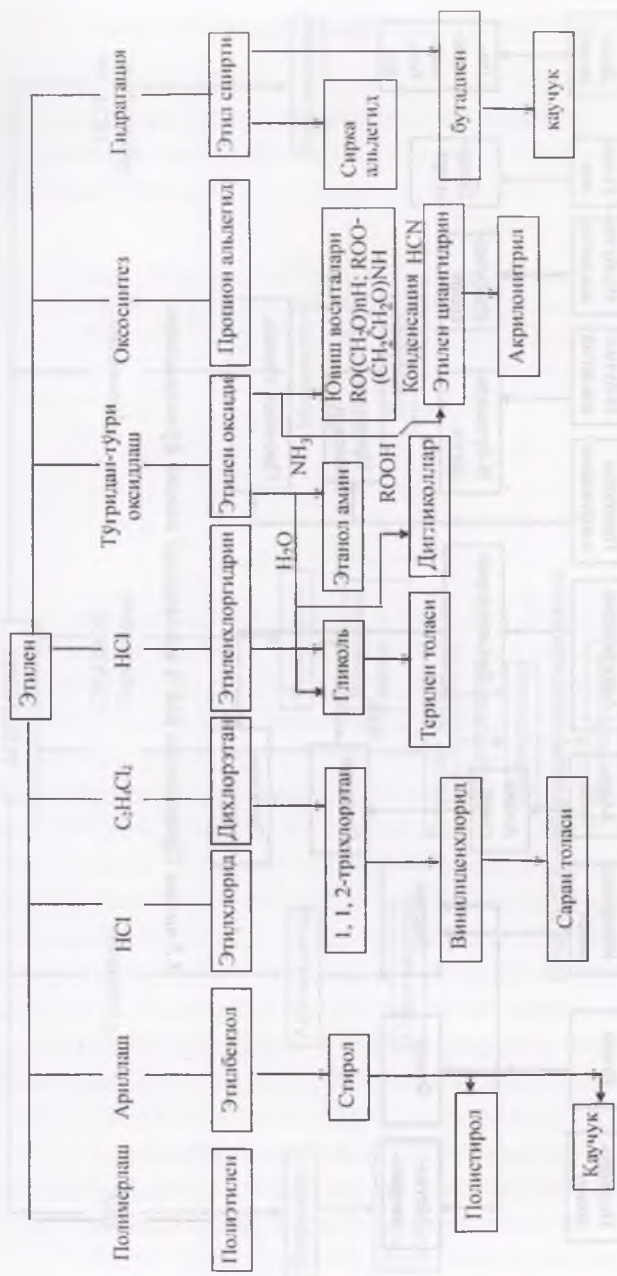
бу ерда,  $q_x$  ва  $q_c$  – печга ҳаво ва ёқилғи билан олиб кирилган иссиқлик;  $q_{\text{и.и.}}$  – ташқарига чиқиб кетувчи газлар билан йўқолувчи иссиқлик;  $q_{\text{нурл.}}$  – нурланиш билан йўқолувчи иссиқлик.

Печь учун топилган фойдали иш коэффициентининг қиймати учун ҳар бир кг учун  $B = 0,128$  кг ёқилғи зарур бўлади. Пиролиз қурилмаларининг фойдали иш коэффициентини  $\eta_{\text{пир.}}$  нинг амалий қиймати 14–40 % атрофидадир. Иссиқликни регенерация қилиш қурилма фойдали иш коэффициентини  $\eta_{\text{куп.}} = 25 \div 70$  % гача етказишга имкон беради, бунда хом ашё тури ва иккиламчи энергоресурслардан фойдаланиш даражаси ҳам муҳим рол ўйнайди.

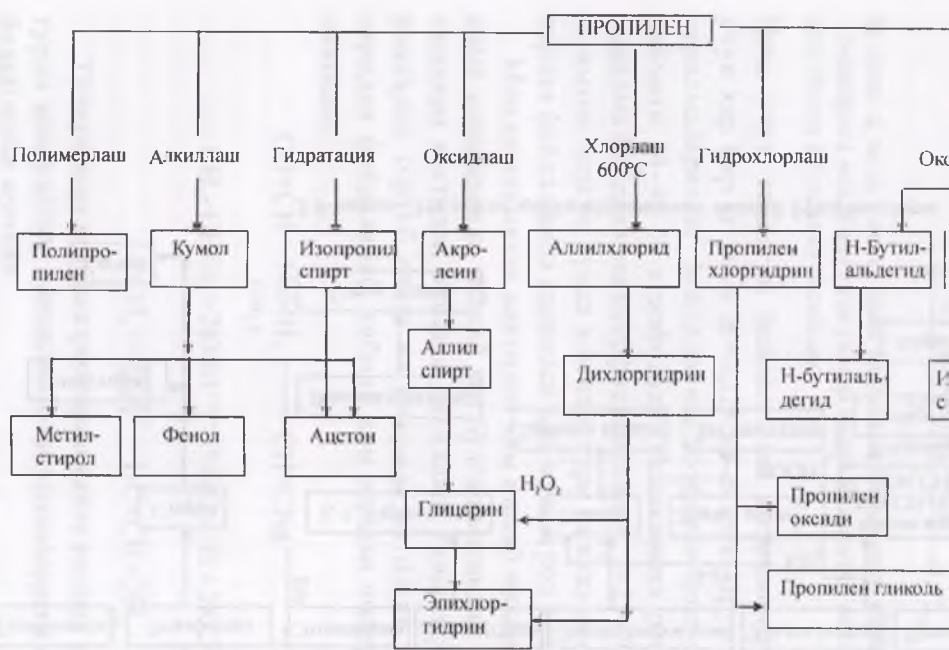
Мамлакатимизда ацетилен ҳам ишлаб чиқарилади. У Навоий кимё корхонасида табиий газ бўлган метандан олинади. Бундан ташқари ацетилен олишда алкиллаш, галоген ёки галогенводородларни тортиб олиш ва юқорида айтилган пиролиз жараёнларидан фойдаланиб, табиий хом ашёдан юқори температурада олинади:



Тўйинмаган углеводородларни қайта ишлаш орқали ўнлаб хил турли маҳсулотлар олинади. Буни чизмалардаги схемаларга қараб билиб олиш мумкин.



3.6-чиъзма. Этиленни кайта ишлашнинг асосий йўналишлари.



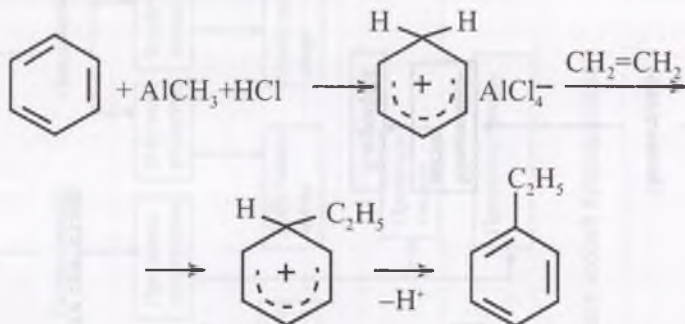
3.7-чизма. Пропиленни қайта ишлашнинг асосий йўналишлари





### 3.2.5. Этилбензол ва диэтилбензол ишлаб чиқариш

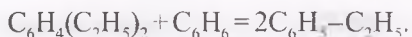
Этилбензол  $C_6H_5C_2H_5$  саноатда асосан стирол синтезида ҳам ашё сифатида қўлланилади. Этилбензолнинг катта қисми бензолни этилен билан алкиллаб олинади ва бир мунча кам миқдордаги қисмини бензин риформинги маҳсулотларидан ўта аниқ ректификация орқали ажратиб олинади.



Алкиллаш реакцияси газ фазада ҳам, суюқ фазада ҳам ўтказилиши мумкин. Ҳозирги вақтда алюминий хлориди катализатор сифатида қўлланилувчи суюқ фазали жараён кенгрок қўлланилади. Катализаторни алюминий хлоридни бензолда алоҳида эритиб водород хлориди ёки хлорэтил (промоторлар) қўшган ҳолда тайёрланади. Ҳосил бўлган катализатор комплекси этилен билан бириқади.

Катализатор комплекси алоҳида аппаратда тайёрланади ва даврий сурада алкиллаш реакторига кириб турилади. Алкиллашда қўшимча реакциялар ҳам амалга ошади (крекинг, полимерланиш). Булар орасида полиалкилланган ароматик углеводородларининг ҳосил бўлиши аҳамиятлидир. Ҳосил бўлувчи маҳсулотлар орасида моно-, ди-, три-, тетра- ва ундан юқори алкилланган этилбензоллар аралашмасини кўрамыз. Ҳам ашё оқимидаги бензол билан этиленнинг оптимал нисбатини танлаб моноэтилбензолнинг максимал чиқишига эришиш мумкин, аммо полиэтилбензоллар ҳосил бўлишининг тўла равишда олдини олиш иложи бўлмайди.

Алкиллаш реакцияси қайтардир, шу боис ҳам полиалкилбензоллар алюминий хлорид таъсирида бензол билан бирикиб, этилбензол ҳосил қилади.



Ушбу қайта алкиллаш реакцияси ҳамма этилен ва бензолнинг реакторда этилбензолга айланишини таъминлайди.

Алкилбензолларнинг мувозанатдаги миқдорлари 3.3-жадвалда келтирилган.

3.3-жадвал

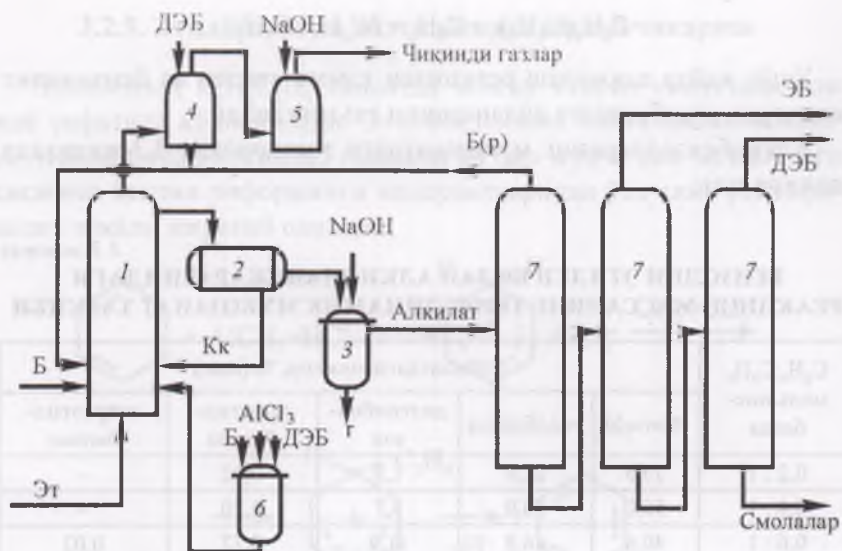
**БЕНЗОЛНИ ЭТИЛЕН БИЛАН АЛКИЛЛАШ ЖАРАЁНИДАГИ  
РЕАКЦИОН МАССАНИНГ ТЕРМОДИНАМИК МУВОЗАНАТ ТАРКИБИ**

C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> :C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> моль нис- батда	Алкилатдаги миқдор, % (мас.)				
	бензол	этилбензол	диэтилбен- зол	триэтил- бензол	тетраэтил- бензол
0,2 : 1	75,6	22,9	1,5	0,02	
0,4 : 1	56,0	38,0	5,7	0,20	
0,6 : 1	40,6	46,8	11,9	0,72	0,02
0,8 : 1	28,6	50,1	19,4	1,77	0,09
1,0 : 1	19,6	49,3	27,3	3,57	0,25

Алкиллаш ва қайта алкиллаш жараёнларига катализатор концентрацияси (алюминий хлориднинг), промотор концентрацияси (HCl), температура, контакт вақти, босим, этилен ва бензол нисбати каби омиллар таъсир этиши ўрганилган.

Саноатда ишлаб турган технологик схемалар бир-бирларидан унчалик катта фарқ қилмайди. Уларнинг бири 3.9-расмда келтирилган. Схемада реакция узели (1, 2 аппаратлар), ректификация оркали маҳсулотни ажратиб олиш (7 колонналар), катализатор тайёрлаш (6) ва ишлатилганини нейтраллаш (3), чиқариб юборилаётган газларни тозалаш (4, 5) кабиларга аҳамият бериш керак бўлади.

Бензолни этилен билан алкиллаш жараёни колонна хилидаги бар-ботаж режимида ишловчи реакторда олиб борилади. Бир вақтнинг ўзида алкиллаш билан биргаликда полиэтилбензолларни қайта алкиллаш ҳам амалга ошади. Реакторга бензол, полиэтилбензоллар, тоза ва рециркуланувчи катализатор комплекси, газ ҳолдаги олефин киритилади. Реакция иссиқлиги реактордаги бензолнинг буғланиши ва унинг буғларни конденсациялаш ҳамда рециркуляция

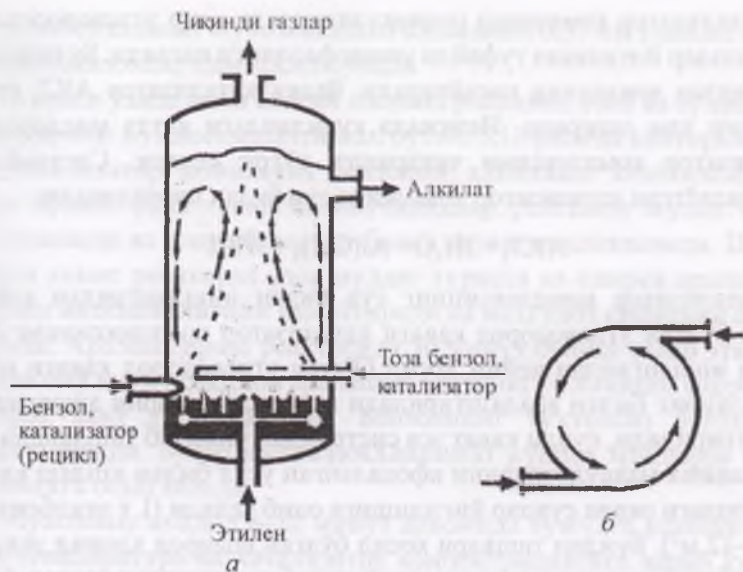


3.9-расм. Бензолни этилен билан алкиллаш жараёни схемаси:

1 – алкиллаш реактори; 2 – тиндиргич; 3 – алкилатни ювиш узели; 4 – чикинди газлардан бензолни конденсацияси ва абсорбция қилиб олиш узели; 4 – чикинди газлардан бензолни конденсация ва абсорбция қилиб олиш узели; 5 – чикинди газлар нейтраллизатори; 6 – катализатор тайёрлаш реактори; 7 – ректификацион колонналар; Оқимлар: Б – бензол; Б(р) – рециркуланувчи бензол; Эт – этилен; ЭБ – этилбензол; ДЭБ – диэтилбензол, абсорбция ва катализатор тайёрлашга берилди; К – катализатор; Кк – катализатор комплекси (рецикл); г – катализатор комплексини нейтраллаш чикиндиси.

орқали чиқариш ҳисобидан олиб борилади. Жараён температураси 80–130°C атрофида бўлиб, уни реактордаги босимни (0,1–0,6 МПа) бошқариш (у буғланиш температурасига боғлиқдир) орқали ушлаб турилади. Катализатор комплекси билан реакция аралашма интенсив аралаштириб турилганда юқори самарага эришилади, бунда турли полимерлар ҳосилалари вужудга келиши камайди, комплекснинг асосий қисми ўз фаоллигини сақлаб туради. Демак, этилен барбогажигга катта аҳамият бериш керак бўлади. Бу мақсадда 3.10, а-расмда келтирилган алкилатордан фойдаланилади.

Реакторда газ реактор кесими бўйлаб майда форсункалар орқали тарқалади. Тоза бензол ва катализатор алоҳида штуцердан этилен



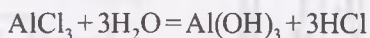
3.10-расм. Бензолни этилен билан алкиллаш реактори:  
 а – умумий кўриниши; б – рециркуланувчи окимни киритиш схемаси.

оқими ўртасига киритилади. Бунда тез диспергиланиш ва реагентлар контактига эришилади. Рециркуляцияланувчи бензол ва катализатор комплекси корпус ёни бўйлаб ёнлама чизикда киритилади (3.10, б-расмда). Тоza аликат реактор юқори қисмидан олинади, катализатор ва реакцион зонага қайтарилади.

Реактордаги контакт вақти берилган температурада энг секин жараён – қайта алкиллаш тезлиги билан аниқланади.  $130^{\circ}\text{C}$  да у 60 минутга тенг бўлади. Мазкур шароитда этиленнинг тўла конверсияланишига эришилади ва реакцион аралашманинг мувозанатдаги таркибига эришилади, бу ўз навбатида олефин: бензол нисбатининг дастлабки ҳолатига боғлиқ бўлади. Одатда олефин: бензол =  $1(2\div 3)$  нисбатининг (моль) шу миқдоридан фойдаланилади. Бунда реакцион масса таркиби [% (мас.)] куйидагича бўлади: бензол-45-56 %; этилбензол 36–41; полиалкилбензоллар 8–12. Бир тонна этилбензол учун сарфланадиган бензол миқдори 0,8 т, этиленники 0,26 т, алюминий хлоридники 4–6 кг ни ташкил этади. Реакцион ҳажм бирлигидан олинувчи этилбензол миқдори  $200 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{соат})$ га стади.



Катализатор комплекси рециркуляциясида оғир углеводородлар ва смолалар йиғилиши туфайли унинг фаоллиги пасаяди. Бу нафақат этилбензол чиқишини пасайтиради, балки катализатор  $\text{AlCl}_3$  нинг сарфини ҳам оширади. Натижада қурилмадаги катта микдордаги катализатор комплексини чиқаришга тўғри келади. Системадан чиқарилаётган катализатор комплекси сув билан парчланади:

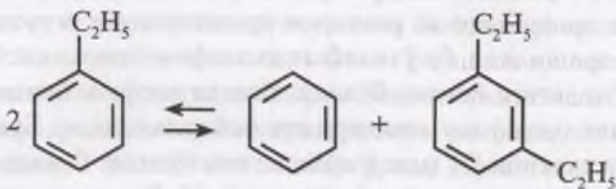


Катализатор комплексининг сув билан иншлангандан кейин ҳосил бўлган углеводород қавати катализатор комплексининг сув билан ишлангандан кейин ҳосил бўлган углеводород қавати нордон алкилат билан аралаштирилади ва маҳсулотларни ажратишга йўналтирилади, сувли қават эса системадан чиқариб ташланади.

Реакция маҳсулотларини ифодаланган усул билан ишлаш катта микдордаги оқова сувлар йиғилишига олиб келади (1 т этилбензолга 10–12 м<sup>3</sup>). Бундан ташқари ҳосил бўлган водород хлорид ускуна ва трубаларни занглатади ҳамда қимматбаҳо қотишмалардан фойдаланишни тақозо этади.

Алкилат уч колоннали ректификацион агрегатда бўлинади. Бензолни ҳайдашга мўлжалланган биринчи колонна 20 га яқин тарелкага эга бўлиб, атмосфера босимида ишлайди. Иккинчи колоннада (60 га тарелкага) концентрацияланган этилбензол (99,8 %) олинади. Учинчи колонна полиаклибензолларни смоладан ажратишга хизмат қилади, у 40–50 тарелкага эга бўлиб, 5,3 кПа (40 мм симоб устун) га тенг босимда ишлайди.

Диэтилбензол  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  этилбензолни диспропорциялаб олинади:



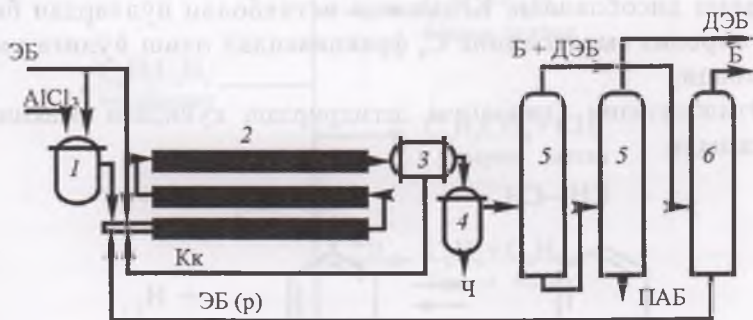
Диэтилбензолдаги метил гуруҳи ҳолати қавс кўрсатилганлиги о-, м- ва п-диэтилбензол изомерларининг 400 К даги 0,28 : 0,51 : 0,21 нисбатида мувозанатдаги аралашмасидан иборат эканлигидир.

Диэтилбензолнинг мувозанатдаги айланиши 0,37 ни ташкил этади. Полиалбензоллар ҳам ҳосил бўлади.

Жараён ўзида икки асосий система реакцион узел ва бўлиш системаларини мужассамлаштирган бўлиб, 3.11-расмда келтирилган.

Катализатор комплекси бензолни алкиллаш комплекси сингари бўлиб, унга тегишли камчиликлар реакцион муҳит билан қаватланади ва алкилбензолар билан дезактивацияланади. Шу сабабли унинг реакторда узок муддат туриши ва камрок аралашуви жараён интенсифлигини камайтиради ва маҳсулот сифатини пасайтиради. Аралаштириш реакторида 50 минут бўлиш талаб этилади. Бунда бир қисм реакцион аралашма вақтнинг бўлиниши ҳисобидан кўпроқ вақт туриб қолади. Бензолнинг тўхтовсиз буғланиши амалга ошади. Булар полиалкилларнинг кўпроқ миқдорда ҳосил бўлишига олиб келади.

Мувозанат амалда 8–12 минут давомида вужудга келиши мумкин (температура ва катализатор концентрациясига қараб туриб). Буни трубкасимон реакторда идеал сиқиб чиқариш режимида амалга ошириш мумкин. Унда оқим бир мунча секин бўлганлигидан (реактор узунлиги 12–15 м бўлганда 1 см/с яқин) оқим қаватларга ажралади – буғ фазаси ва иккита суюқлик ҳосил бўлади. Махсус



3.11-расм. Этилбензолни диспропорциялаб диэтилбензол синтези схемаси: 1–катализатор тайёрлаш реактори; 2–трубасимон реактор; 3–тиндиргич; 4–катализатор ювиш узели; 5–ректификацион колонналар; 6–бензолни қуриштириш ва ажратиш колоннаси; Оқимлар: ЭБ–этилбензол; ДЭБ–диэтилбензол; Б–бензол; ЭБ(р)–рециркуляцион этилбензол; К–катализатор; Кк–катализатор комплекси (рецикл); Ч–чиқинди; ПАБ–полиалкилбензоллар.

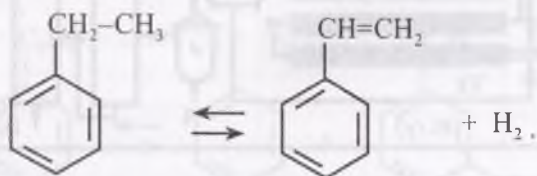
тайёрланган вставка-аралаштиргичлар (2.76, *e*-расмдаги сингари) каватланиш олдини олади ва реакторлар яхши аралашган буг-суюқлик окими ҳаракатланади. Бу йўл билан полиалкилбензолларнинг кўп ҳосил бўлишига йўл қўйилмайди ҳамда диэтилбензол чиқиши 6–7 % га ошади. Катализатор комплексининг деактивланишини камайтириш мақсадида (ажратиш системасининг) биринчи колоннанинг куб бензоллар суюқлиги реакторга полиалкилбензоллар миқдори 12–14 % дан ошмаган ҳолда қайтарилади.

Аниқ ҳисобланган бензол ректификацион колоннаси бироз такомиллаштирилганда яна бир муҳим маҳсулот – юқори тозалikka эга бўлган бензолни олишга имкон беради.

### 3.2.6. Стирол ишлаб чиқариш

Стирол  $C_6H_5CH=CH_2$  – муҳим маҳсулотлардан бири, қолимерлар (полистирол, синтетик каучук) ва сополимерлар (акрилонитрил ва бутадиен асосида олинувчи зарбабардош полистирол) хом ашёси ҳисобланади. Стирол ишлаб чиқариш саноати йирик тоннажли, ҳозирги замон агрегатларининг бирламчи қуввати йилига 150–300 минг тонна стиролни ташкил этади. Ҳозирги вақтда стирол олишнинг асосий усули этилбензолни дегидрирлаш ҳисобланади. Келажакда истикболли йўллардан бири уни пиролиз смоласининг  $C_8$  фракциясидан олиш йўлига умид қилинади.

Этилбензолни стиролгача дегидрирлаш куйидаги реакцияга асосланади:



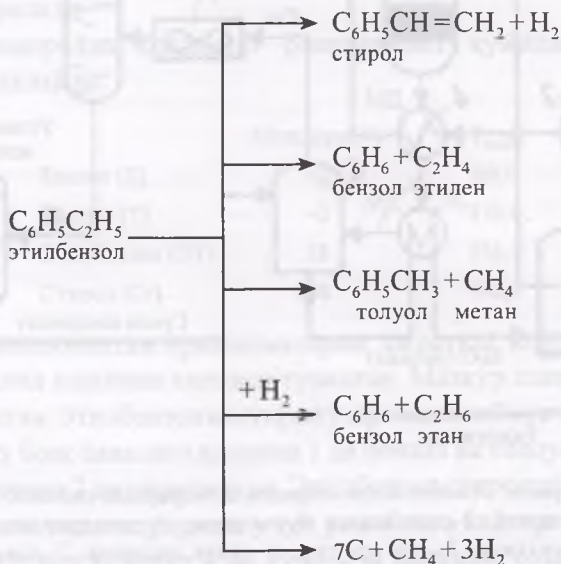
Реакция эндотермик бўлиб ҳажм ўсиш билан боради. Тегишлича температура ўсиши ва углеводород парциал босими пасайиши билан этилбензолнинг стиролга айланиш даражаси ортади. 0,1 МПа босимда бу боғлиқлик куйидагича бўлади:

Дегидрирлаш температураси, К	700	800	900	1000
Айланишнинг мувозанатдаги айланиши	0,055	0,21	0,53	0,83

Айланиш юқориқ бўлишини таъминлаш мақсадида хом ашё сув буғи билан суюлтирилади, бу реакцияга киришаётган аралашманинг босимини камайтиришга эквивалентдир. Масалан, 900 К да этилбензолнинг стиролгача дегидрирланишининг мувозанат даражаси сув буғи билан суюлтиришда қуйидагича ўсади:

$\text{H}_2\text{O}:\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ моль нисбати	0	5	10	20
Дегидрирлашнинг мувозанатдаги даражаси	0,53	0,74	0,85	0,90

Саноатда сув буғи билан суюлтиришнинг буғ:газ=(15÷20):1 га тенг нисбати қўлланилади ва реакция 830–900 К атрофидаги температурада ўтказилади. Катализаторлар темир оксиди асосида К ва Сг қўшган ҳолда тайёрлайди. Ушбу катализаторларда қўшимча реакциялар ҳам амалга ошади:

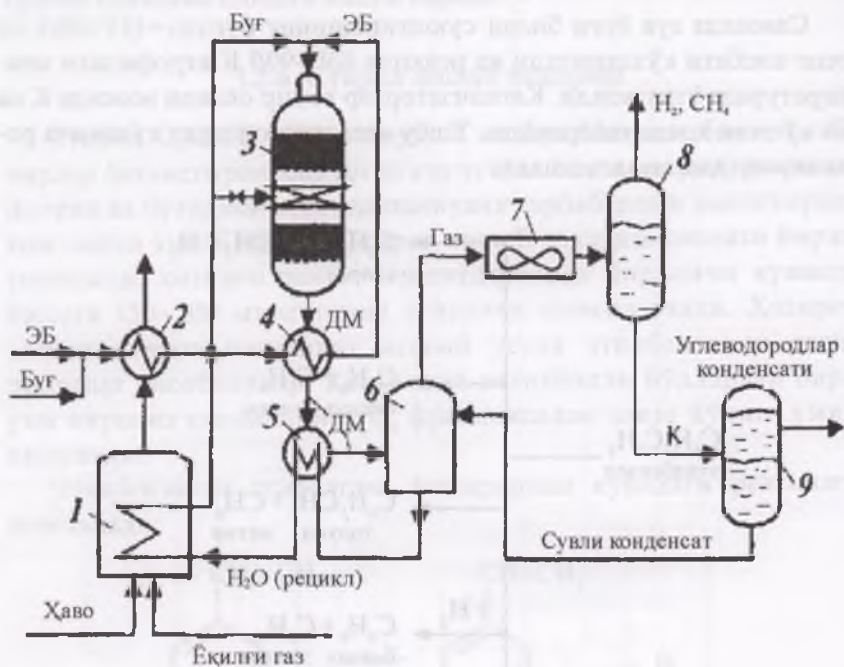




Стирол бўйича чиқиш 98 % га етади. Катализаторда парчаланнишдан ташқари углерод қопланиши тузатилади. Суўлтириш учун бериладиган сув буғи, нафакат мувозанатни сўради, балки катализатор юзасида йиғилувчи углерод қопламалари хор регенерация (тоза)ланиб туради, шу боис у 1,5–2 йил давомида ишлаб туради.

3.12-расмда этилбензолни дегидрирлашнинг технологик схема-си келтирилган.

Тоза этилбензол ректификацион аппаратдан чиқувчи рецикланган этилбензол ва сув буғи билан аралаштирилади ва иссиқлик алмаштиргич 2 да буғлатилади. Булар иссиқлик алмаштиргич 4 да 500–520°С гача қайта иситилади. Буғлатгич 2 ташландик газлар би-



3.12-расм. Этилбензолни стиролга дегидрирлаш схемаси:

1–буғ иситиш печи; 2–этилбензол буғлатгичи; 3–дегидрирлаш реактори; 4–этилбензол иситгичи; 5–сув иситгич; 6–кўпик аппарати; 7–ҳаво совитгич; 8–сепаратор; 9–фазалар ажратгич; Оқимлар: ЭБ–этилбензол (янги ва рецикл);  $H_2$ ,  $CH_4$ –ёнувчи газлар ёқилги шахобчасигача; ТГ–туғун газлар; К–конденсат; ДМ–дегидрирлаш маҳсулотлари.

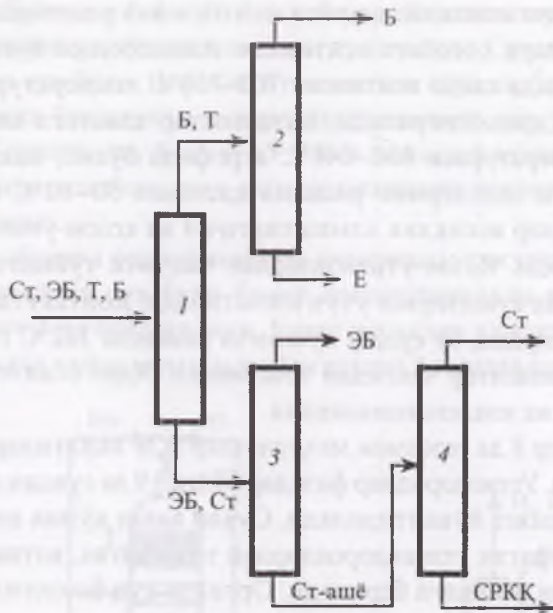
лан атрофлича иситилади, қайта иситгич 4–3 реактордан чикувчи контакт газлари ҳисобига иситилади. Алкилбензол буғлари ва сув реактор олдида қайта иситилган 700–730°C температурага эга сув буғи билан аралаштирилади. Катализатор қаватига кирувчи аралашма температураси 600–640°C атрофида бўлиб, чиқишда дегидрирлашдаги эндотермик реакция ҳисобига 50–60°C га пасаяди. Контакт газлар иссиқлик алмаштиргич 4 ва қозон-утилизатор 5 да рекуперланади. Қозон-утилизатордан чикувчи тўйинган сув буғи этилбензолни суюлтириш учун ишлатилади. Контакт газ қўпик аппарат 6 га киради, бу ерда у қўшимча равишда 102°C гача совитилади ва катализатор чангидан тозаланади. Ҳаво совитгич 7 да сув совутилади ва конденсацияланади.

Сепаратор 8 да газсимон маҳсулотлар ВЭР ёқилғилари сифатида ажратилади. Угеводородлар фазалар бўлгич 9 да сувдан ажратилади ва ректификацияга йўналтирилади. Сувли қават қўпик аппарати 6 га тушади ва эриган углеводородлардан тозалангач, коглаутилизатор 5 га ва кейин рециклга берилади. Ортикча сув биологик тозалашга йўналтирилади.

Углеводородли конденсат реакциянинг куйидаги маҳсулотларини сақлайди:

	Микдори, %	T <sub>қайн.</sub>
Бензол (Б)	~2	80,1
Толуол (Т)	~2	110,6
Этилбензол (ЭТ)	38	136,2
Стирол (Ст)	58	146,0

Қўп компонентли аралашмаларни ажратиш қоидаларига кўра конденсатни ажратиш схемаси тузилган. Мазкур схема 3.13-расмда келтирилган. Этилбензол ва стирол ўзаро яқин қайновчи суюқликлар бўлиб, шу боис аввалига колонна 1 да бензол ва толуол ажратилади. Булар колонна 2 да ажратилади. Этилбензол стиролдан колонна 3 да ажратилади ва дегидрирлаш учун рециклига қайтарилади. Стирол: ректификацион колонна 4 да қўшимча равишда тозаланади. У тез димерлангани боис тозалаш 120°C дан паст ҳавосиз шароитда олиб борилади ва ингибитор сифатида олтингугурт қўшилади. Стирол



3.13-чизма. Стиролни ректификацион ажратиш ва тозалаш схемаси:

Б – бензол; Т – толуол; ЭБ – этилбензол; СРКК – стирол ректификацияси куб колдиклари; 1–4 – ректификацион колонналар.

ректификацияси куб қолдиклари (СРКК)ни регенерация қилиш мумкин бўлади.

Этилбензолни дегидрирлаш агрегатининг иссиқлик эффективлиги схемаси қуйида келтирилган нисбатдан иссиқликнинг фойдали иш коэффициентини ( $\eta_r$ ) ёрдамида баҳолашни мумкин:

$$\eta_r = \frac{Q_{\text{техн.}}}{(Q_n + Q_k)},$$

бу ерда  $Q_{\text{техн.}} = Q_d + Q_a + Q_{\text{ку}} + Q_{\text{ув}}$  ( $Q_d$  – дегидрирлаш реакциясининг эндотермик эффекти;  $Q_a$  – алкилбензол киздирилиш, буғланиш ва қайта иситиш иссиқлиги;  $Q_{\text{ку}}$  – қозон-утилизаторда контакт газининг иссиқлиги;  $Q_{\text{ув}}$  – печдаги сув буғини қайта иситиш иссиқлиги);  $Q_n$  – ёқилғи ёқилишидаги иссиқлик;  $Q_k$  – тўйинган буғ билан ТЭЦдан келган иссиқлик.

Этилбензолни дегидрирловчи саноат агрегатларида фойдали иш коэффициенти одатда 28–33 % дан ошмайди. Ўтказилган таҳлиллар иссиқлик эффектининг пастлиги сабабли паст температурали контакт газининг иссиқлигини рекуперация қилинмаслигини кўрсатди. Этилбензолни дегидрирловчи агрегатдаги иссиқлик оқимининг диаграммасидан кўринадики (3.14-



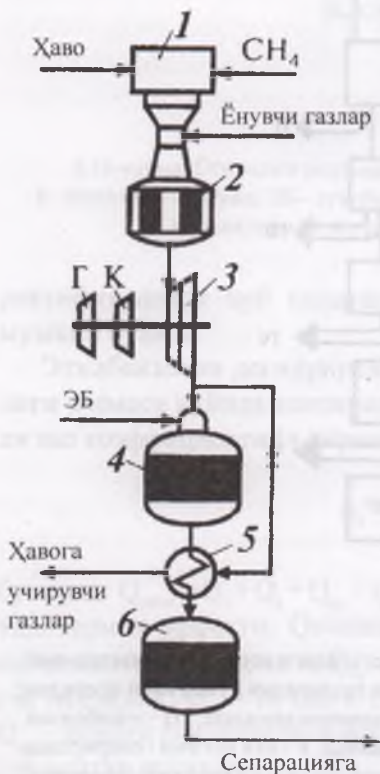
3.14-расм. Этилбензолни дегидрирлаш агрегатидаги иссиқлик оқимларнинг диаграммаси: I – буг иситиш печидаги тутун газларидан йўқолувчи иссиқлик; II – дегидрирлашдаги эндотермик реакция компенсациялаш; III – этилбензол шихтасини иситиш; IV – этилбензолни буглатиш; V – сув бугини генерирлаш; VI – совутиш ҳавоси ва хладагент билан атроф-муҳитга йўқолувчи иссиқлик.



расм), ёнилги билан кирган иссиқликнинг катта қисми совутгич-конденсатор 7 ва сепаратор 8 ни совутишда атроф-муҳитга чиқиб кетади. Жараён энергетик потенциалини энерготехнологик системага суюлтиргичларни киритиш билан яхшилаш мумкинлиги аниқланган. Бунда сув буғидан фойдаланиш самара беради. Сув буғи мувозанатни ўнг томон суради ва катализаторнинг узлуксиз регенерацияланиб туришини таъминлайди, сув буғи реакцияда иштирок этмайди. Иссиқлик оқимларининг регенерация қилинишига қарамай, буғланиш ва иситиш, совутиш ва конденсациялаш каби жараёнлар саноатда термодинамик қайтмас бўлганлигидан энергетик потенциалдан тўла фойдаланиб бўлмаслиги табиий ҳол ҳисобланади. Жараёнга углерод диоксиди ( $\text{CO}_2$ ) ҳам сув каби тасир ўтказиши ўрганилган. Мазкур газ ёқил-

ги газидан олинади, ёниш маҳсулотлари энергия ташитгичлар ролини бажаради. Бу суюлтириш моддасининг қўшимча хоссаси стирол ишлаб чиқаришнинг энерготехнологик схемасини тузишга имкон беради, унинг асосий қисми 3.15-расмда кўрсатилган.

Табиий газ печь 1 да ёқилади, технологик жараёнда ҳосил бўлувчи ёнувчи газлар эса каталитик реактор-оксидловчи 2 да ёнади. Ҳосил бўлувчи газлар аралашмаси  $1050^\circ\text{C}$  ҳарорат билан газ турбинаси 3 га йўналтирилади, бу компрессор приводи ва энергия ишлаб чиқаришга сарфланади.



3.15-расм. Стирол ишлаб чиқаришнинг энерготехнологик схемаси:

1—ўчоқ; 2—реактор-оксидловчи; 3—газ турбинаси; 4,6—дегидрирлаш реактори; 5—иссиқлик алмаштиргич; К—компрессор; Г—генератор.

Кейин газлар 750°C ҳароратда этилбензол билан аралаштирилади ва икки реактордан ташкил топган реакцион узелга йўналтирилади (4, 6). Реакцияга киришувчи аралашманинг оралиқ иситилиши иссиқлик аралаштиргич 5 да иссиқ газлар билан олиб борилади. Ҳосил бўлувчи маҳсулотлар сепарация системасига узатилади. Сепарация системасида иссиқ газлар системанинг энергия узелига қайтарилади, углеводород аралашмаси эса ректификацияга берилади. Этилбензолни дегидрирлашнинг келтирилган схемаси энергетик фойдали иш коэффициентини деярли икки барабар ошириб беради (70 % атрофигача етказилади).

### 3.2.7. Полиолефинлар ва полистирол ишлаб чиқариш

Саноатда ишлаб чиқарилувчи полимер материаллар орасида полиолефинлардан ҳисобланган полиэтилен билан полипропилен катта ўрин тутади. Полиолефинларда механик пишиқлик, кимёвий мустаҳкамлик, диэлектрик кўрсаткичларининг юқорилиги, газ ва сувни кам ўтказиши, ишловга осон берилиши, нархларининг юқори эмаслиги ва хом ашёнинг мўллиги каби кўрсаткичларнинг мужасамлашуви уларнинг кимё муҳсулотлари ичида биринчи ўринни эгаллашига замин яратганлиги маълум.

Полиолефинлар ишлаб чиқаришнинг айрим вакилларига тўхтатиб ўтамыз.

**Полиэтилен**  $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$  этиленнинг карбозанжирли полимеридир. Полиэтилен молекуляр массаси полимерланиш усули ва режимига боғлиқ ҳолда бир неча минглардан миллионларгача бориши мумкин. Полиэтилен кристаллик полимер бўлиб, 20°Cда полимернинг кристаллик даражаси олиниш усулига қараб туриб 50–90 % атрофида бўлади.

Ҳозирги вақтда саноатда полиэтилен асосан уч усулда олинади:

этилен юқори босимда полимерланади (100–350 МПа). Жараён 200–300°C ҳароратда инициатор (кислород, органик пероксидлар) иштирокида олиб борилади, бундай маҳсулот юқори босимли полиэтилен (ЮБПЭ) ёки паст зичликка эга полиэтилен (ПЗПЭ) деб номланади.

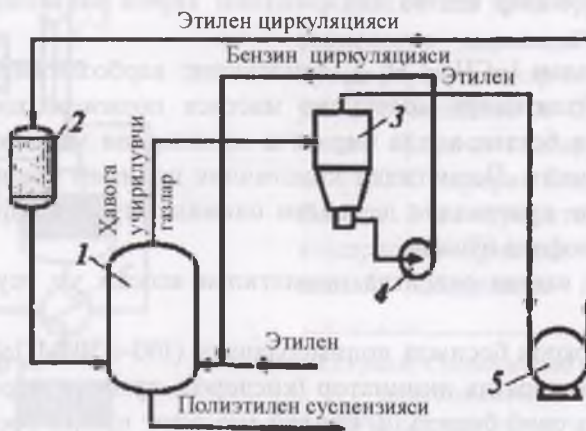
Паст босимда металлорганик катализаторлар иштирокида полимерланувчи этилен (20 МПа дан пастда); бунда полимерланиш  $80^{\circ}\text{C}$  харорат атрофида сиспензияда (органик эритувчи мухитида) олиб борилади. Бундай махсулот паст босимли полиэтилен (ПБПЭ) ёки юкори зичликка эга полиэтилен (ЮЗПЭ) деб номланади.

Этилен 3–4 МПа босим ва  $150^{\circ}\text{C}$  хароратда полимерланади, бунда ўзгарувчан валентликка металллар оксидларидан катализаторлар сифатида фойдаланилади. Бундай усулда олинadиган махсулот ўрта босимли полиэтилен (ЎБПЭ) дейилади.

**Паст босимли полиэтилен (ПБПЭ).** Циглер-Натта катализаторлари иштирокида полипропилен ишлаб чиқаришга ўхшаш шароитда олинади. Диэтилалюминийхлорид  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$  ва титан тетрагидрохлорид  $\text{TiCl}_4$  асосидаги каталитик комплекслар саноат миқёсида кенг тарқалган катализаторлардан ҳисобланади.

Этилен полимеризацияси идиш типидagi реакторда 0,2–0,5 МПа ва  $60\text{--}80^{\circ}\text{C}$  ўтказилади. Бензиндаги катализатор концентрацияси  $1\text{ кг/м}^3$  атрофида бўлиб, этилен конверсияси 98 % га етади, суспензиядаги полимер миқдори реактордан чиқишда  $100\text{ кг/м}^3$  ни ташкил этади.

Полимерланиш реакциясидан ажралаётган иссиқликни олиб чиқиш полипропилен ишлаб чиқаришникига қараганда қийинроқ



3.16-расм. Этиленнинг паст босимдаги полимерланиш схемаси:  
1-реактор; 2-совутгич; 3-циклон; 4-насос; 5-газ хайдагич.



бўлиб, эритувчининг бир қисмини буглатиш ҳисобига олиб борилади, у конденсация ва совутилгач, яна реакторга қайтарилади. Реакторлар углеводни пўлатдан тайёрланади. Реактор узели схемаси 3.16-расмда келтирилган.

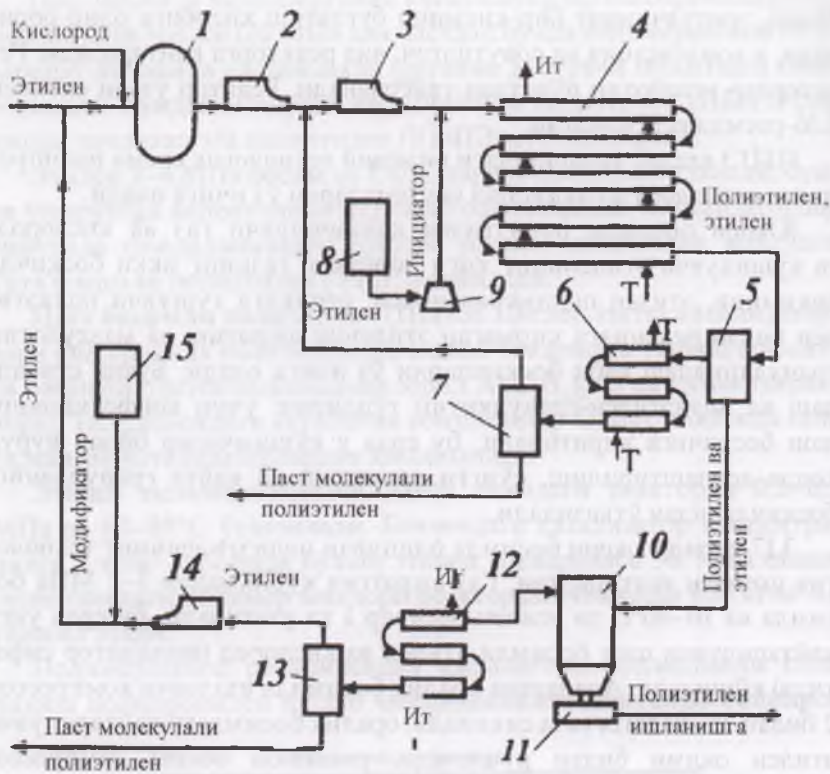
ПБПЭ ишлаб чиқаришдаги кимёвий технологик схема полипропилен олишдаги функционал системаларни ўз ичига олади.

Юқори босимли полиэтилен қайтариловчи газ ва кислородга қўшилувчи этиленнинг янги порцияси газнинг икки босқичда сиқимини, этилен полимеризацияси, рециклга тушувчи полиэтилен билан реакцияга кирмаган этиленни ажратиш ва маҳсулотни грануляциялаш каби босқичларни ўз ичига олади. Бўяш, стабиллаш ва полиэтилен-гранулянтни тўлдириш учун конфекционирлаш босқичига киритилади, бу ерда у қўшимчалар билан курук ҳолда аралаштирилиш, сўнгги эритилиш ва қайта грануллианиш босқичларидан ўтказилади.

3.17-расмда юқори босимда олинувчи полиэтиленнинг технологик схемаси келтирилган. Газ ажратгич қурилмадан 1–2 МПа босимда ва 10–40°C да этилен ресивер 1 га узатилади, бу ерда унга қайтариловчи паст босимли этилен ва кислород (инициатор сифатида) қўшилади. Аралашма оралик босимида ишловчи компрессор 2 билан 25–30 МПа гача сиқилади, оралик босимдаги қайтариловчи этилен оқими билан қўшилади, реакцион босим компрессори 3 билан 150–300 МПа гача сиқилади ва трубкали реактор 4 га йўналтирилади. Этилен реакторда 200–320°C да полимерланади.

Реакторда ҳосил бўлган эриган ҳолдаги полиэтилен реакцияга киришмаган этилен (этиленнинг полимерга конверсияси 10–30 %) реактордан доимий равишда дроссель клапани орқали чиқариб турилади ва паст босимли ажратгич 10 га киритилади. Оралик босимнинг ажратгич 5 дан чиққан қайтарилган этилен совутиш аппарати 6 ва сепарация 7 дан ўтказилади, бу ерда 30–40°C гача совийди ва паст молекулали полиэтилен ажратилади ҳамда компрессор 3 га тортиш учун узатилади. Паст босим ажратгичи 10 да 0,1–0,5 МПа да ва 200–250°C да полиэтилендан эриган этилен (паст босими қайтарма газ) ажралади, совутиш аппаратлари 12 ва сепарация 13 орқали компрессор 14 га киради ва кейин янги порциядаги этилен билан аралаштирилади. Паст босимнинг ажратгичи 10 даги эриган полиэ-





3.17-расм. Юқори босимда этиленнинг полимерланиш схемаси:

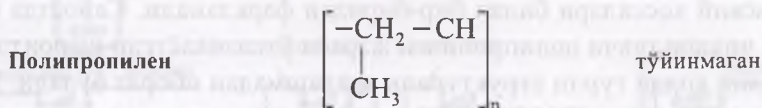
1-ресивер; 2-оралиқ босим компрессори; 3-реакцион босим компрессори; 4-трубкасимон реактор; 5-оралиқ босим ажратгичи; 6, 12-совутгичлар; 7, 13-циклонлар; 8-инициатор учун идиш; 9-дозировкаловчи насос; 10 - паст босим ажратгичи; 11-экструдер; 14-рециркуланувчи этилен учун компрессор; 15-модификатор учун идиш; И<sub>1</sub>-иссиқлик ташитгич.

этилен экструдер 11 га тушади, ундан гранула кўринишида конфекционарланиш (бўяш ва кўшимча ишланиш)га йўналтирилади.

Этилен ва энергия ресурсларининг сарфи қуйида келтирилади:

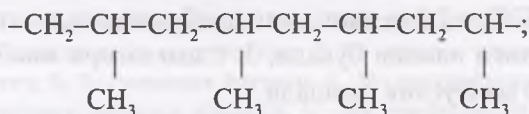
Этилен, кг .....	1030
Совутувчи сув .....	160-180
Сув буғи, т .....	0,65
Электр энергияси, квт-с .....	1000-1200

Трубкасимон реактор-полимеризаторлар саноат микёсида катта унум билан ишлатилади, улар диаметри 50–100 мм «трубадаги труба» типдаги кетма-кет уланган иссиқлик алмаштиргичлардан ташкил топади, трубкасимон реакторда реакция зона узунлиги 1000–1200 м га боради. Иссиқлик алмаштиргич сифатида 190-200°С ҳароратдаги иситилган сувдан фойдаланилади:

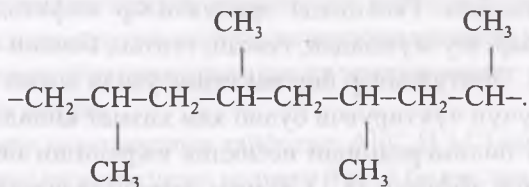


углеводород бўлган пропиленнинг полимерланиш махсулотидир. Полипропилен макромолекуласи узлуксиз равишда алмашинувчи иккиламчи ва учламчи углерод атомларидан ташкил топганлиги билан характерланади. Полипропилен макромолекуласи қуйидаги икки конфигурациядан бирига эга бўла олади:

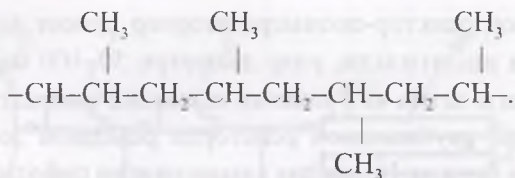
а) изотактик структурада – барча  $\text{CH}_3$  гуруҳлари занжир текислигининг бир томонида жойлашган ҳолда



б) синдиотактик структурада –  $\text{CH}_3$  группалари занжир текислигининг икки томонида аниқ кетма-кетликда жойлашади



Изотактик ва синдиотактик полимерлар умумий номда **стереорегуляр полимерлар** номи билан аталадилар. Бундан ташқари полипропилендаги занжирда **стереоблокли ёки атактик** структурага эга қисмлар ҳам учрайди, бунда  $\text{CH}_3$  гуруҳлари тартибсиз жойлашган бўлади:



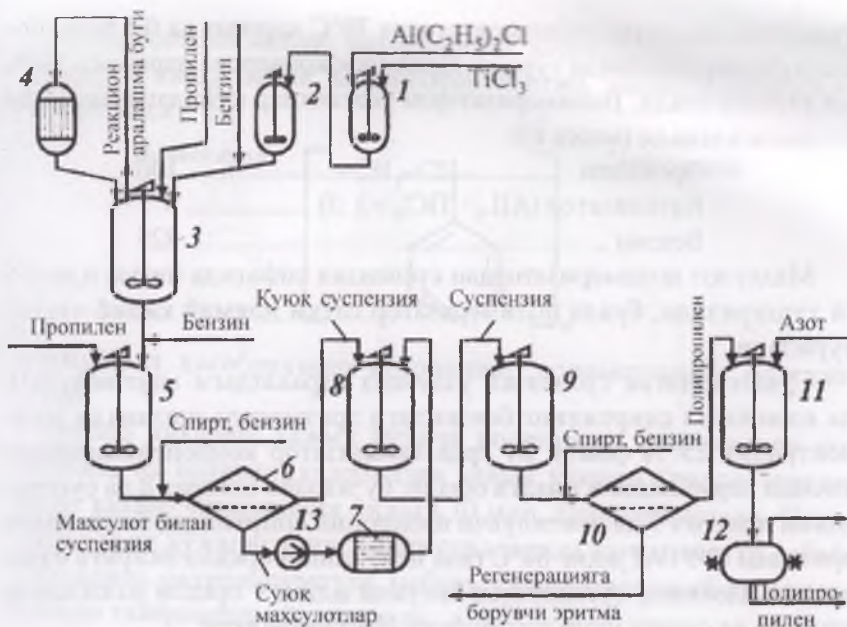
Полипропилен стереоизомерлари ўзларининг механик, физик ва кимёвий хоссалари билан бир-бирдан фарқланади. Саноатда ишлаб чиқарилувчи полипропилен жараён ўтказилаётган шароитлари боғлиқ ҳолда турли структурални аралашмадан иборат бўлади. Молекуляр массаси 80000-200000 атрофида ва изотактик қисми саноат миқёсида ишлатилиши муҳим материал ҳисобланади.

Полимердаги изотактик қисмининг миқдори полимерланиш учун қўлланилаётган катализаторга боғлиқ бўлади. Пропилен полимеризацияси амалда диэтилалюминий хлорид  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$  ва титан уч хлориддан ташкил топган каталитик комплекс иштирокида олиб борилади. Ушбу каталитик системадаги компонентлар нисбати полимерланиш тезлигига ва стереомахсусликка таъсир этади.  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}:\text{TiCl}_3=2:1$  га тенг моль нисбатда катализаторнинг максимал активлиги намоён бўлади, 3:1 дан юқори нисбатда эса энг юқори стерео махсуслик сезилади.

Ҳароратнинг кўтарилиши полимерланиш тезлигини оширгани ҳолда молекуляр массанинг пасайишига олиб келади. Полимерланиш одатда 50–100 °С, бунда ҳосил бўлувчи полимер реакцион муҳитда эримайди. Реакцияда эритувчилар сифатида тўйинган углеводородлар, шу жумладан, гексан, гептан, бензин ва бошқалар қўлланилади. Эритувчилар бир вақтнинг ўзида ҳосил бўлувчи полипропилен учун чўктирувчи бўлиб ҳам хизмат қилади.

Пропилен полимерланиши иссиқлик ажралиши билан боради, бунда иссиқлик эффекти 58,7 кЖ/моль атрофида бўлади. Иссиқлик сув ёрдамида олиб кетилади. Полипропилен ишлаб чиқарилиши ҳам даврий, ҳам узлуксиз усулда олиб борилади. Иқтисодий жиҳатдан кейинги жараён афзал ҳисобланади.

Полипропилен ишлаб чиқаришнинг кимёвий технологик схема-си 3.18-расмда келтирилган бўлиб, у (диэтилалюминийхлорид ва хлорли титандан ташкил топган катализатор комплексини тайёр-



3.18-расм. Полипропилен ишлаб чиқариш схемаси:

1 – катализатор комплекси аралаштиргичи; 2, 11 – оралик идиш; 3 – полимеризатор; 4 – совитгич; 5, 9 – суспензия йиггичи; 6, 10 – центрифугалар; 7 – иситгич; 8 – катализаторни парчалаш аппарати; 12 – вакуум-хаскашли куритгич.

лаш; пропилен полимеризацияси; реакцияга кирмаган мономерни чиқариб ташлаш; каталитик комплексни парчалаш; полимерни катализатор колдикларидан ювиш; полипропиленнинг куритиш; полипропиленнинг сўнгги ишланиши ва эритувчининг регенерациясини ўз ичига олади).

Катализатор комплексини тайёрлаш  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$  нинг бензиндаги 5 %-ли эритмасини кукун ҳолдаги  $\text{TiCl}_3$  билан аралаштиргич 1 да аралаштириш билан амалга оширилади.

Катализатор суспензияси оралик идиш 2 га тушади, унда дозалашиб, полимеризатор 3 га ўтади. Полимеризатор  $10 \text{ м}^3$  ҳажмли бўлиб, совутиш воситаси ва совитгич-конденсатор 4 билан жиҳозланади. Аралаштиргичи ишлаб турган полимеризаторга узлуксиз равишда суюқ пропилен катализатор комплекси ва бензин узатиб турилади.



Реакцион аралашма полимеризаторда 70°C ҳарорат ва 0,1 МПа босимда 6 соат давомида туради. Пропилен конверсия даражаси 98 % ни ташкил этади. Полимеризаторда реагентлар куйидаги нисбатда дозировкаланади (масса к.):

Пропилен .....	100
Катализатор ( $AlL_3 \cdot TiCl_3 = 3 : 1$ ) .....	9
Бензин .....	225

Маҳсулот полимеризатордан суспензия сифатида йиғма идиш 5 га туширилади, бунда полимеризатор сатҳи доимий қилиб ушлаб турилади.

Суюлтирилган суспензия узлуксиз ҳаракатдаги центрифуга 6 да изопропил спиртининг бензиндаги эритмасида ишланади [концентрация 25 % (мас.)]. Бу ерда катализатор компонентларининг қисман парчаланиши амалга ошади, бу жараён аппарат 8 да суспензияни иситгич 7 да иситилувчи изопропил спиртининг бензиндаги эритмаси (ФУГАТ)нинг 60°C гача иситилиши орқали охирига етказилади. Полимер суспензияси йиғувчи идиш 9 орқали иккиламчи ювишга ва сиқиш учун центрифуга 10 га узатилади.

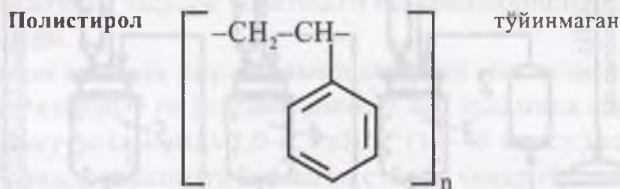
Ювилган полипропилен идиш 11 га ва қайновчи қатламга эга қуритгич 12 га узатилади, унда 95°C ҳароратда иссиқ азотда бензин микдори 0,1 % колгунигача қурилади. Қуритилган полипропилен грануляция ва қадоклашга жўнатилади.

1 т грануланган полимернинг сарф кўрсаткичлари куйида келтирилади:

Пропилен, кг .....	1125
Эритувчи (бензин), кг .....	25
Изопропил спирти, кг .....	4
Диэтилалюминийхлорид, кг .....	2,4
Уч хлорли титан, кг .....	1,2
Сув буғи, кг .....	3200
Совитувчи сув, м <sup>3</sup> .....	400
Азот, м <sup>3</sup> .....	70
Электр энергия, кВт-с .....	500

Полипропилен ишлаб чиқаришда 1 т товар ҳолдаги изотактик полимерга 8 кг га яқин атактик полипропилен ҳосил бўлади.

Полипропилен ишлаб чиқаришнинг ҳозирги вақтдаги долзарб муаммоси янада актив катализатор яратиб, ундан фойдаланиш ҳисобланади.



углеводород ҳисобланмиш стиролнинг полимерланиш маҳсулотидир.

Ишлаб чиқариш ҳажми бўйича полистирол пластиклари полиэтилен ва поливинилхлориддан кейин учинчи ўринда туради. Унинг ишлаб чиқарилиши йилига 10 млн. тоннадан ошади. Полистирол халқ ҳўжалигининг барча соҳаларида ва яна электр асбоб-ускуналари, радиоаппаратура, мебель, қадоклашда ва уй-рўзғор асбоблари тайёрлашда қўлланилади.

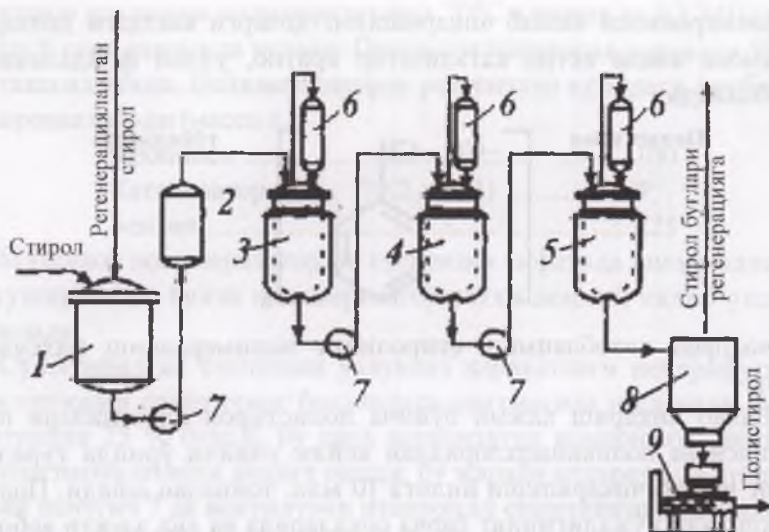
Полистирол юқори диэлектрик кўрсаткичларга эга бўлган термопластик материалдир. У кимёвий мустаҳкам, сувга чидамли ва рангсиз. Лекин унинг паст механик пишиқлиги ва иссиқлиги, унча юқори чидамли эмаслиги маълум. Шунинг учун ҳам полистирол хоссаларини яхшилаш мақсадида модификацияланади. Унинг урилиш ва зарбага қарши хоссаларини яхшилаш, олов ва атмосферага чидамлилигини, тиниқлигини оширишга ҳаракат қилинади. Полистиролнинг сифатини ошириш ва унга керакли комплекс хоссаларини бериш мақсадида турли кўшимчалар қўшиш ва кимёвий модификациялаш ўтказилади.

Янги сифатга эга полистирол пластиклари олиниши уларнинг саноатнинг турли-туман соҳаларида ишлатилиши йўналишларини кенгайтиради, уларга бўлган талабни оширади.

Саноатда стирол полимеризацияси асосан блокда, эмульсия ва суспензияда ўтказилади:

1) мономернинг тўла бўлмаган конверсияси билан стиролнинг блокли полимеризацияси (узлуксиз усул);

2) стиролнинг суспензион полимеризацияси (даврий усул);



3.19-расм. Аралаштирувчи реакторлар каскадидаги стиролнинг блокли полимеризация схемаси: 1 – стирол учун идиш; 2 – иссиқлик алмаштиргичлар; 3–5 – полимеризаторлар (реакторлар); 6 – совиғичлар; 7 – насослар; 8 – вакуум-камера; 9 – грануляторли экструдер.

3) стиролнинг суспензион-блокли полимеризацияси (даврий усул).

Ҳозирги вақтда мономернинг тўла бўлмаган конверсияси орқали стиролнинг блокли полимеризациясининг бир неча варианты қўлланилади. 3.19-расмда стиролнинг тўла бўлмаган конверсияси аралаштирувчи реакторлар каскадидаги полимеризацияси жараёни схемаси келтирилган. Кимёвий-технологик система куйидаги системачалардан ташкил топади: стирол полимеризацияси; реакцияга қирмай қолган мономерни чиқариш ва ректификация қилиш; полистирол грануляцияси.

Стирол идиш 1 дан дозировкаловчи насос 7 ёрдамида иссиқлик алмаштиргич 2 орқали полимеризацияга узатилади. Стирол полимеризацияси кетма-кет жойлашган учта реакторда ўтказилади. Биринчи реактор 3 да жараён  $110\text{--}120^\circ\text{C}$  да ўтказилади ва реакция аралашмада полимер микдори 30 % атрофида бўлади; иккинчи реактор 4 да полимерланиш жараёни  $125\text{--}135^\circ\text{C}$  да мономер конвер-

сияси 60 % га етгунча ўтади; жараён учунчи реактор каскади 5 да 140–150° сўнги конверсия 80–85 % га етганда таомоланади. Полимерланиш реакцияси иссиқлиги реактордан мономер буглатилиши ва конденсатнинг тескари совитишгичда совитилиши ҳисобига камайтиради.

Реакцион массани бир полимеризатордан иккинчисига ва кейин вакуум-камера 8 га ўтказиш насос 7 лар ёрдамида амалга оширилади. Вакуум-камерада 2,0–5,3 кН/м<sup>2</sup> (15–40 мм су.) атрофидаги қолдиқ босимда реакцияга кирмаган стирол чиқариб олинади. Стирол буглари регенерацияга берилади ва кейин мономер қайтадан идиш 1 га қайтарилади ва хом ашё билан аралаштирилади. Полистирол эритмаси вакуум-камера 8 дан экструдер 9 га ўтади ва грануляцияга кетади.

Мономернинг тўла бўлмаган конверсияси жараённинг муҳим камчиликларидан бири реакцияга кирмай қолган стиролни ҳайдашдаги стирол конденсатининг ҳосил бўлишидир.

Конденсатни утилизациялаш қуйидаги вариантлардан бири орқали амалга оширилади:

– ректификацион тозалаш орқали кўрсаткичлари стандартга мос сифатли стирол олиш;

– стиролни полимерлаб, пастроқ масъулиятли буюмлар ишлаб чиқаришга мўлжалланган полистирол олиш.

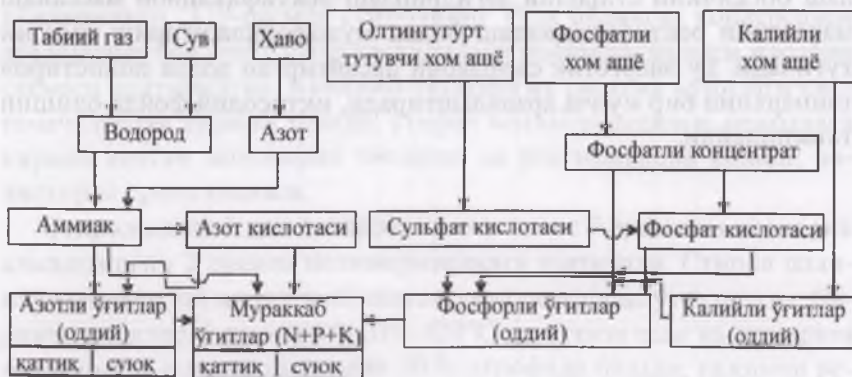
Кўрсатилаётган ҳолатда ишлаб чиқарилувчи полистирол нефт кимёси комплексига киради, шу боис конденсатни тозалаш босқичини стиролни дегидрирлаш ректификацион массалаш массасини ректификациялаш билан мужассамлаштириш имкони туғилади. Бу энергетик сарфларни пасайтирган ҳолда полистирол таннархини бир мунча арзонлаштиради, иқтисодий фойда олишни таъминлайди.



### 4.1. ЎЎГИТЛАР ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ УМУМИЙ СТРУКТУРАСИ

Минерал ўғитлар ишлаб чиқариш кимё саноатининг энг муҳим соҳаларидан биридир. Дунёнинг барча мамлакатларида йилига 100 млн.т. дан ортиқ минерал ўғитлар ишлаб чиқарилади. Асосий озика элементлари – азот, фосфор ва калийдан иборат. Уларнинг миқдори амалда мавжуд модда, мувофиқ равишда  $N$ ,  $P_2O_5$  ва  $K_2O$  бўйича ҳисобланади. Ишлаб чиқарилувчи ўғитларда уларнинг миқдори ўртача 38–42 % ни ташкил этади. Ўсимликларнинг тўлақонли озикаси шунингдек ( $Mg$ ,  $B$ ,  $Mn$ ,  $Zn$  ва ҳ.к.) микроэлементларни ўз ичига олади.

Азотли ва фосфорли ўғитлар аммиак, сульфат кислота ва фосфор кислотаси орқали ишлаб чиқарилади. Калийли ўғитлар бево-сита минерал хом ашёдан (асосан сильвинитдан) олинади. Минерал ўғитлар ишлаб чиқаришнинг тахминий (шартли) схемаси 4.1-расмда келтирилган. Минерал ўғитлар бир фаолият кўрсатувчи моддадан (оддий ўғитлар) ёки бир неча моддадан ташкил топади (мураккаб ўғитлар). Булардан охиригиси уларда мавжуд моддаларнинг миқдори ва уларнинг нисбатлари бўйича фарқланади:



4.1-расм. Минерал ўғитлар ишлаб чиқариш схемаси.

Ўғитлар	(Русум) Марка (N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :K <sub>2</sub> O)
Аммофос .....	11 : 48 : 0
Аммофоска .....	10 : 15 : 17
Диаммофос .....	18 : 47 : 0
Нитрофос .....	23 : 17 : 0
Нитрофоска .....	12 : 12 : 12
Нитроаммофос .....	23 : 23 : 0
Нитроаммофоска .....	14 : 14 : 16

Мураккаб ўғитлар оддий ўғитларни аралаштириш ёки мувофик кислоталарни аммиак билан нейтраллаш орқали тайёрланади. Ўғитларнинг асосий қисми доналанган ҳолда ишлаб чиқарилади. Суюқ комплекс ўғитлар – СКЎ муҳим аҳамият касб этиб бормоқда.

Аммиак, сульфат, нитрат ва фосфор кислоталари – минерал ўғит олинишида асосий ярим маҳсулот ҳисобланади. Улар бундан ташқари кўплаб бошқа мақсадларда ҳам қўлланилади.

Уларни ишлаб чиқариш, жараённинг назарий асосларини ривожлантиришнинг муваффақиятли тимсоли, технологик ва муҳандислик ечимларнинг илмий асосланиши, юқорида кўриб ўтилган кимёвий жараёнлар назарияларининг, реакторлар ва кимё-технологик тизимларининг (КТТ) қўлланиши исботидир. Номланган маҳсулотларнинг ишлаб чиқарилиши тўғрисида келгусида баён этилади.

### НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Эритиш усуллари қандай ишлаб чиқаришларда қўлланилади?
2. Чўкгириш жараёнининг қандай усуллари бор?
3. Термофосфатлар ишлаб чиқаришда қандай кимёвий ўзгаришлар содир бўлади?
4. Пишиш жараёнида суюқ фазанинг бўлиши қандай аҳамиятга эга?
5. Қаттиқ моддаларни пишириш тезлиги нимага боғлиқ?
6. Термофосфатлар нима?
7. Фосфатларни куйдириш даврида нима учун SiO<sub>2</sub> қўшилади?
8. Қаттиқ моддалар ўртасида кетувчи реакцияларни тезлатиш тадбирлари нимадан иборат?
9. Куйдириш жараёнининг тезлатиш тадбирлари-чи?
10. Фосфоритни кўмир билан қайтаришда кўмининг аҳамияти нимада?

11. Нима учун фосфор кислотасининг концентрацияси паст бўлади?
12. Фтор гази қандай қилиб ушланади?
13. Филтрдан чиққан ювинди сувдан нима мақсадда фойдаланилади?
14. Дегидрат режимининг афзаллиги нимада?
15. Сульфат кислотаси нима учун қўлланилади?
16. Термик кислотанинг афзаллиги.
17. Аралашмага қўшилган кумнинг роли нимадан иборат?
18. Сублимация жараёни деб нимага айтилади?
19. Полифосфат кислотаси нима?
20. Тошқолнинг хусусиятлари.

## 4.2. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ТЕХНОЛОГИЯСИ

### 4.2.1. Умумий маълумотлар

Сульфат кислотани ишлаб чиқариш пўлат ишлаб чиқариш каби мамлакатнинг техникавий ривожланиш даражасини билдиради. Ишлаб чиқариш кўлами ва ишлатилиш турлари бўйича сульфат кислотаси пўлат сингари халқ хўжалигида олдинги ўринлардан бирини эгаллайди.

Техниканинг ривожланиши билан сульфат кислотани ишла-тиш соҳалари кенгайиб бормоқда. Аммо сульфат кислотасини истеъмол қилувчи энг катта истеъмолчи бу минерал ўғит заводлари ҳисобланади.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришни кўпайтириш зарурати туфайли ҳозирги кунда бўлинмас қувватларни 1000 ва 1500 т/сут (100 % ли  $H_2SO_4$  га ҳисобланганда) ошириш йўли билан амалга оширилмоқда ва битта корхонада параллел ишлайдиган бир неча тизимлар қурилмоқда. Корхонада бўлинмас қувватларни ва эксплуатацион харажатларни камайтириш лозим. Иккита параллел ишлай-ётган сульфат кислотаси тизимларини қуриш солиштира капитал сармояни 7,0–7,5 %, кислота таннархини 5,0–5,5 % камайтиради ва ишлаб чиқариш унумдорлигини 75–80 % оширади. Бироқ сульфат кислотасини битта корхонада ишлаб чиқаришни кўпайтириш билан атмосферага чиқиб кетувчи олтингурут икки оксиди газининг чиқиб кетиши ортади. Бундан ташқари чиқиб кетаётган олтингу-гурт икки оксиди атроф-муҳитни ифлослантириб қолмасдан, балки бутунлай хом ашёни йўқотишга олиб келади, бу эса 1 т ишланади-



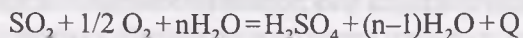
ган маҳсулот сарфи коэффициентини оширади. Масалан, 1500 т/сут  $H_2SO_4$  ишлаб чиқарадиган контакт аппаратида суткасига ҳавога чиқиб кетадиган газлар билан 20 т гача йўқолади, 300 т/сут қувват билан ишлайдиган контакт аппаратлари эса 4 т йўқотади. Шунинг учун замонавий интенсив тизимлар алоҳида қўшимча ажралиб чиқадиган газларни зарарсизлантириш бўлимларига эга бўлиб, улар ишланган  $SO_2$  ҳажмини 0,03 % гача камайтириб, санитар нормага стказадилар.

**Сульфат кислотанинг ишлатилиши.** Сульфат кислота халқ хўжалигида катта миқдорда ишлатилади. Шунингдек, таннархи бўйича арзон ва энг кучли кислоталардан биридир. Айниқса, ўғит саноатида, тиббиётда, тўқимачилик, кимё саноатида нам газларни қуритишда, мудофаада, нефтни қайта ишлаш саноатида, аммиакли чиқинди газлардан аммиакни ушлаб, аммоний сульфат каби минерал ўғит ишлаб чиқаришда кўп ишлатилади. Экстракцион фосфор кислотасини ишлаб чиқаришда ҳам сульфат кислотаси кўп ишлатилади.

Сульфат кислотаси металлларнинг юзини ювишда кўп миқдорда сарфланади. Бу жараённинг чиқиндиси – темир сульфати ҳосил бўлади, уни кристаллантириб чўкмага тушириб олинади. Концентранган сульфат ва азот кислоталарнинг аралашмаси органик моддаларни нитратлаш жараёнида, анил-бўёқ саноатида ярим маҳсулотларни, портловчи моддалар (нитроглицерин, тротил ва бошқалар) олиш учун қўлланилади. Сульфат кислотасини яна гидролиз саноатида катализатор сифатида, сунъий тола ишлаб чиқаришда ва бошқа кўп соҳаларда ишлатадилар.

#### 4.2.2. Ишлаб чиқариш усуллари

Замонавий сульфат кислотаси ишлаб чиқарувчи корхоналар учун дастлабки хом ашё олтингугурт диоксиди (олтингугурт тўрт оксиди), кислород ва сув ҳисобланади. Улар орасидаги ўзаро таъсирлашув қуйидаги стехиометрик тенглама бўйича кетади:



Бу жараён нитроза ва контакт усуллари билан амалга оширилади. Нитроза ва контакт усуллари билан бир-бирдан асосий фарқи



асосан  $\text{SO}_2$  газини  $\text{SO}_3$  газига қандай оксидлашга боғлиқ. Нитроза усулида  $\text{SO}_2$  нинг  $\text{SO}_3$  гача оксидланиши асосан суюқ фазада кечади ва кислородни бериш азот оксидлари ёрдамида амалга оширишга асосланган. Азот оксидлари ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ )  $\text{SO}_2$  ни  $\text{SO}_3$  гача оксидлаб, ўзлари  $\text{NO}$  гача қайтарилади.  $\text{NO}$  эса газ аралашмасидаги кислород билан суюқ ва газли фазаларда оксидланади. Ўтган асрнинг 70-йилларигача натрий сульфат (кейинрок суперфосфат) ишлаб чиқариш учун нитроза усули билан олинадиган сульфат кислотаси қўлланилиб келинган.

Англияда 1831 йилда Филлипс  $\text{SO}_2$  кислород билан қаттиқ платина катализатори юзасида оксидланишини ихтиро қилди, лекин мазкур усул ўтган асрнинг 70-йиллардагина кенг қўлланила бошланди. Бундай усулнинг кеч ўзлаштирилишига платинали катализатор ўз фаоллигини тез йўқотиши сабаб бўлган бўлса, иккинчидан эса олеум истеъмолчилари пайдо бўлмаган эди.

Ўтган асрнинг 70-йилларида Книтчанинг ишлари сабабли олтингугурт тўрт оксиди таркибида мишьяк мавжудлиги туфайли аниқланди. У куйдириш газини катализатор захридан тозалаш усулини ҳам топди.

Контакт жараёнининг ривожланишида Россияда ишлаб чиқарилган Тентелев кимё заводи тизими катта аҳамият касб этади. Бу тизим амалга жорий қилинди ва ўша давр учун замонавий такомиллашган тизим ҳисобланарди. Фойдаланилган катализатор платиналашган асбест кўринишида бўлиб, барботаж типидagi адсорберлар ишлатилган. 1917 йилда 64 та Тентелев тизимлари турли мамлакатларда ишлатилган. Ҳозирги кунда жараёнда катта миқдордаги сульфат кислотаси контакт усули билан ишлаб чиқарилади. Сульфат кислотасини контакт усули билан ишлаб чиқаришнинг ўсиши юқори техник даражада жиҳозланганлиги, тоза ва концентранган кислотага бўлган талабнинг борлиги, жараёни автоматлаштириш мумкинлиги, шунингдек, йўл қўйиладиган даражагача атмосферага чиқиб кетадиган газларда олтингугурт оксидлари концентрацияси миқдорининг камлиги билан аниқланади.

Контактли сульфат кислотасини ишлаб чиқариш корхоналари автоматлаштирилган технологик жараёни бошқариш тизимлари билан қуролланган.

Сульфат кислотасини контактли олиш жаҳонда икки усул билан амалга оширилмоқда:

– бир марта контактланадиган усулда  $\text{SO}_2$  ва  $\text{SO}_3$  гача оксидлаш 97,5–98 % етади ва атмосферага йўл қўйилиши мумкин бўлган чегаравий миқдордан ортиқ  $\text{SO}_2$  ва  $\text{SO}_3$  чиқинди газлар билан чиқиб кетади, бу эса бундай тизимларда тозалаш бўлимини қуришга қўшимча харажатлар талаб қилади.

– икки марта контактланадиган усулда ва икки мартали абсорбцияда  $\text{SO}_2$  ни  $\text{SO}_3$  гача оксидлаш даражаси 99,7–99,8 % ни таъкил қилади, бу эса қўйилиши мумкин бўлган  $\text{SO}_2$  ва  $\text{SO}_3$  концентрацияга чиқиндиларнинг миқдори талабга мос келади. Икки март контактланадиган тизимда контакт усулида сульфат кислотасини ишлаб чиқариш қуйидаги босқичлардан иборат бўлади:

1. хом ашёни тайёрлаш; 2. олтингургурт тўрт оксиди олиш; 3. газни тозалаш; 4. олтингургурт тўрт оксидини оксидлаш; 5.  $\text{SO}_3$  абсорбцияси; чиқиб кетувчи газларни тозалаш. Икки марта контактланадиган ва икки марта абсорбцияланадиган тизимда сульфат кислотасини олишда олтинчи босқич мавжуд эмас.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришнинг контакт усулига ҳўл катализ деб аталадиган усул киради. Водород сульфатни ёндиришдан олинган анча миқдорда нам сақлайдиган олтингургурт тўрт оксиди утилизатор – қозондан ўтади, у ерда  $\sim 1000^\circ\text{C}$  гача совийди, ювилмасдан ва қурилмасдан  $440\text{--}450^\circ\text{C}$  катализаторнинг биринчи қатламига келади. Олинган кислота 76 % га эга бўлади.

**Сульфат кислотасини сақлаш ва ташиш.** Сульфат кислотаси саноатда ҳар бирининг сифими  $3000\text{ м}^3$  келадиган сақлагич (бақ)ларда, концентранган сульфат кислотаси эса қопламасиз бакларда, концентранмагани ва айниқса тоза сульфат кислотаси кислотага чидамли материаллар билан қопланган пўлат бакларда сақланади.

Сульфат кислотаси ишлаб чиқариладиган жойида ишлатилади. Бироқ истеъмолчиларнинг талабига кўра олеум ва концентранган сульфат кислотаси пўлат цистерналарда ташилади. Ҳозирги кунда сульфат кислотаси қурилмаларининг бир агрегати бир суткада ўрта ҳисобда 1500 тонна сульфат кислота моногидрати ишлаб чиқаради. Олеумни сақлашда иситиладиган бинолардан фойдаланилади.

### 4.2.3. Сульфат кислотаси ва олеум хоссалари

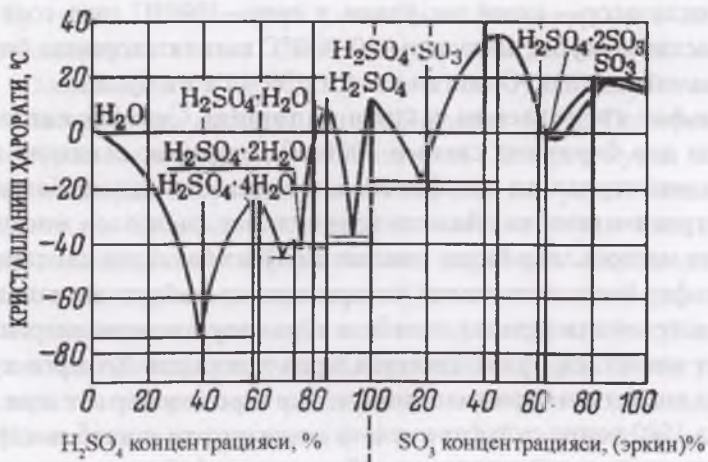
Сульфат кислотасининг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, уни хоҳлаган концентрацияда олиш мумкин.

Сувсиз сульфат кислотаси 81,63 масс. %  $\text{SO}_3$  дан ва 18,37 масс. %  $\text{H}_2\text{O}$  дан иборат бўлади; 100 % ли  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – моногидрат 1 мол  $\text{H}_2\text{O}$  билан  $\text{SO}_3$  нинг бирикиши натижасида ҳосил бўлади. 100 % сульфат кислотада  $\text{SO}_3$  эриши оркали олеум ҳосил бўлади; унинг формуласи  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$ .

Сульфат кислотаси деб  $\text{SO}_3$  билан  $\text{H}_2\text{O}$  нинг аралашмасига айтилади. Агарда бу аралашма ичидаги  $\text{SO}_3$  молекулалар сонининг сув молекулалари сонига нисбати бирга тенг бўлса, сульфат кислотасининг моногидрати ёки концентрацияси 100 % га тенг бўлган сульфат кислота эритмаси олинади.

Агарда бу нисбат бирдан кичик бўлса, у вақтда сульфат кислотасининг сувдаги эритмаси олинади. Мабодо бирдан катта бўлса, у вақтда концентрацияси 100 % дан ортик бўлган  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{SO}_3$  ёки олеум олинади.

Сульфат кислотасининг кристалланиш температураси унинг концентрациясига боғлиқ эканлигини назарда тутиб  $\text{H}_2\text{SO}_4$  сақлашда ва ташишда кристалланишга йўл қўймаслик учун маҳсулот сульфат



4.2-расм. Сульфат кислотанинг кристалланиш диаграммаси.



кислота концентрациясига унинг кристалланиши минимал температура-сига боғлиқлигига қараб нормалар белгиланган (4.2-расм).

Маҳсулот техник сульфат кислотаси стандарт навларининг кон-центрацияси ва уларнинг температуралари қуйида келтирилган:

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> масс. %	SO <sub>3</sub> ҳажмий, %	T <sub>крист.</sub> , °C
Минора сульфат кислотаси	75	—	— 35
Контакт сульфат кислотаси	93,3	—	— 29,5
Олеум	104,05	18	— 2,8
Юқори концентрланган oleум	114,6	65	— 0,35

Сульфат кислотасининг сифатига асосий талаблар 1-жадвал-да келтирилган. Аккумуляторларда ишлатадиладиган кислотани контакт усули билан олишади. Унда 92–94 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> бор. Унинг сифати ГОСТ 667-73 га мос келиши керак. Реактив кислота кимё-вий тоза (к.т.), таҳлил учун тоза (т.т.) ва тоза (т) кўринишда ишлаб чиқарилади ва улар 92–94 масс. % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> эга бўлади.

4.1-жадвал

#### СУЛЬФАТ КИСЛОТАСИГА ҚЎЙИЛАДИГАН ТЕХНИК ТАЛАБЛАР

Миқдори масс. %	Яхши-ланган	1-нав	Техник		Олеум		Минора сульфат кислотаси
			1-нав	2-нав	Яхши-ланган	Техник	
Сульфат кислота (100 % ли моно-гидрат)	92,5	94,0	Камида 92,5		—	—	Камида 75
SO <sub>3</sub> (эркин) камида	—	—	—	—	24	19	—
Темир қўпи билан	0,007	0,015	0,02	0,1	0,007	0,01	0,05
Оксидлар (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), қўпи билан	0,00005	0,0001	—	—	0,0002	0,0005	0,005
Мишьяқ қўпи билан	0,00008	0,0001	—	—	0,00008	0,0001	—
Хлоридлар	0,0001	0,0005	—	—	—	—	—

**Зичлик.** 20°C да сульфат кислотаси ва oleум зичлигининг кон-центрациясига боғлиқлиги 4.3-расмда қўрсатилган.





4.3-расм. Сульфат кислота ва олеумнинг 20°C даги зичлиги.

Расмдан кўриниб турибдики, сульфат кислотасининг зичлиги унинг концентрациясига мутаносиб равишда ортиб боради. Концентрациянинг ортиши билан кислота зичлиги анча камаяди. 0 дан 95 масс. % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> концентрациялари оралиғида кислота концентрацияси зичлик бўйича аниқланади. 95–100 масс. % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> оралиғида зичлигининг жуда кам ўзгариши туфайли кислота концентрациясини кимёвий таҳлил ёрдамида аниқлайдилар.

Олеумнинг максимал зичлиги 69 ҳажм % SO<sub>3</sub> (эркин) мос келади. Температуранинг ортиши билан зичлик камаяди, температура камайиши билан зичлик ортади. Зичликни ўлчаш жаараёнида температурага тузатиш киритилиб, 20°C температурага тўғри келадиган стандартга келтирилади.

Сульфат кислотанинг 20°C иссиқлик ҳосил қилиши қуйидаги тенглама бидан ҳисобланади:

$$Q = \frac{2113 M}{M + 0,2013} + \frac{2,99 (t-15)}{M+0,062} \quad (4.1)$$

бу ерда: Q – сульфат кислотасининг ҳосил бўлиши иссиқлиги, кж/кг SO<sub>3</sub>; t – температура, °C; M – сульфат кислотатадаги сувнинг миқдори, кг/кг SO<sub>3</sub>. Уни қуйидаги тенглама бўйича аниқлайдилар:

$$M = \frac{100 - \text{ҳажм, \% SO}_3}{\text{ҳажм, \% SO}_3}$$

**Кислотанинг суюлтириш ва аралаштириш иссиқлиги.** Сульфат кислотасига сув қуйилганда ажралиб чиқадиган иссиқлик

микдорига суюлтириш иссиқлиги дейилади. У кж нинг 1 кг 100 % ли  $H_2SO_4$  нисбати билан ифодаланади.

Сульфат кислотаси суюлтирилганда ҳосил бўладиган иссиқлик охирги  $Q_2$  ва бошланғич  $Q_1$  концентрациялар айирмасининг фарқига тенг бўлиши суюклаштиришдаги иссиқлик ҳосил қилишнинг аниқлаш усулларидан бири ҳисобланади:

$$Q_{\text{суюк}_1} = Q_2 - Q_1$$

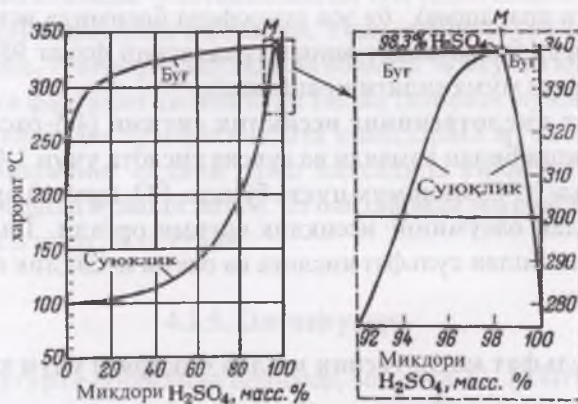
бу ерда  $Q_2$  ва  $Q_1$  (4.1) тенгламаси билан аниқланади.

Кислота сув билан суюлтирилганда сувга кислотанинг ингичка оқими бўйича тинимсиз аралаштириб турадилар. Кислотанинг қаттиқ қизиб кетиши ва сачрашини олдини олиш учун сувни кислотага қўшиш мумкин эмас.

Турли концентрацияли кислоталарни аралаштиришда ажралиб чиқадиган иссиқлик микдорига аралаштириш иссиқлиги  $Q_{\text{арал}}$  дейилади. У қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланади:

$$Q_{\text{арал}} = Q_3(n_1 + n_2) - Q_1n_1 + Q_2n_2,$$

бу ерда:  $Q_1, Q_2, Q_3$  – 100 % ли  $H_2SO_4$  суюлтириш иссиқлиги дастлабки ва аралаштиришдан сўнгги охирги концентрациясигача суюлтириш иссиқлиги;  $n_1, n_2$  – аралаштириш учун олинган, кг да 100 % ли  $H_2SO_4$  сульфат кислота массалари.



4.4-расм. Сульфат кислота сувли эритмасининг 0,98 МПа босимдаги кайнаш диаграммаси.



4.5-расм. Сульфат кислота ва олеумнинг иссиқлик сифими.

**Сувли эритмаларнинг қайнаш температураси.** Бу жараён 4.4-расмда кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, қайнаш температураси ортиши билан  $H_2SO_4$  концентрациясининг эритмада 98,3 масс. % гача ўсиши кузатиляпти. Бундай кислотанинг қайнаш температураси  $338,8^\circ C$  ни ташкил қилади.  $200^\circ C$  гача 85 % ли  $H_2SO_4$  қайнашида буғ фазасига фақат сув ажралиб чиқади, кейинчалик кислота температурасининг ортиши билан буғларда сульфат кислота миқдори кўпаяди: 98,3 % ли  $H_2SO_4$  да буғ ва суюқ фаза  $H_2SO_4$  таркиби бир хил. Бу нукта азеотроп аралашма таркибига мос (доимо қайновчи аралашма), бу эса атмосфера босимида иситиш йўли билан сульфат кислотанинг концентрациясини фақат 98,3 масс. % га кўпайтириш мумкинлигини англатади.

**Сульфат кислотасининг иссиқлик сифими** (4.5-расм) концентрация ортиши билан камаяди ва сувсиз кислота учун  $1,42 \text{ Ж}/(\text{г} \cdot ^\circ C)$  ёки  $0,338 \text{ кал}/(\text{г} \cdot ^\circ C)$  минимум нукта бўлади.  $SO_3$  (эркин) миқдорнинг ортиши билан олеумнинг иссиқлик сифими ортади. Температуранинг ортиши билан сульфат кислота ва олеум иссиқлик сифими анчагача ўсади.

#### 4.2.4. Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун хом ашё

Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун олтингугурт колчеданидан, олтингугуртдан, олтингугурт тўрт оксидли чикинди



газлардан ва водород сульфидлардан хом ашё сифатида фойдаланилади. Барча тур олтингугурт бор хом ашёлардан оддий колчедан ва табиий олтингугуртдан ташқари рангли металллар, кўмир, нефт ва табиий газдан олинадиган маҳсулотлар қайта ишлаш натижасида амалга оширилади. Хом ашёдан тўла фойдаланиш муҳим халқ хўжалиги аҳамиятига молик.

**Олтингугурт колчедани.** Оддий колчедан пирит, кам микдорда марказит ҳолида учрайди, унинг зичлиги мос равишда 4,9–5,1 ва 4,3–4,9 г/см<sup>3</sup>.

Тоza темир сульфиди FeS<sub>2</sub> 53,46 масс. % S ва 46,54 масс. %. Fe дан иборат. Амалда колчеданда олтингугурт 40 дан 47 масс. % атрофида бўлади, колганлари SiO<sub>2</sub>, рангли металллар сульфидлари (цинк, мис, никел ва бошқа), Ca, Ba сульфатлари, кам микдорда Se, Rh, Au, Ag, As, F ва бошқалардан иборат кераксиз жинс деб аталувчи аралашмалардир.

Кўмирли колчедан 35 дан 40 масс. % гача S ва 10 дан 20 масс. % гача кўмрдан иборат бўлади. Тошкўмирларни бойитишда чиқинди сифатида кўмир колчедани олинади. Колчедан таркибида углероднинг бўлиши унинг ёниш температурасини кўтаради ва қуйдирилган газда кислород микдорини камайтиради.

**Флотацияланган колчедан таркибида** 1–1,5 масс. % мис бўлган колчеданни бойитиш йўли билан олинади. Флотация йўли билан колчедан бойитилади. Флотацияланган колчедан кимёвий таркиби бўйича оддийсидан фарқ қилмайди. Унда олтингугурт микдори 40 дан то 45 масс. % атрофида бўлади ва 48 масс. % ва унга кўшимча равишда қайта флотация қилиш йўли билан ошириш мумкин. Флотацияланган колчедан сульфат кислота заводларига жўнатилаётганда музлаб қолишининг олдини олиш мақсадида унинг намлиги 3–4 масс. % атрофида бўлиши лозим. Ёз пайтларида эса рухсат этилади-ган намлик 8 масс. % га етади.

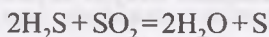
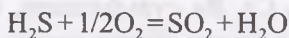
#### 4.2.5. Олтингугурт

Олтингугурт–ноорганик полимер, массаси 32, иккита кристаллик шаклда (ромбик ва моноклин) мавжуд бўлади. Оддий температурада олтингугурт қаттиқ ҳолатда S<sub>8</sub> кўринишда учрайди.

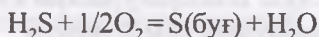


112,8°C температурада ромбик олтингугурт ва 118,8°C да – моноклин суюкланади. 120°C суюлган олтингугурт сарик рангга эга ва енгил харакатланувчан; 190°C, у қора-жигаррангли қовушқоқ массага айланади. Температура 400°C да олтингугурт яна енгил харакатланувчан бўлиб, 444,6°C да у қайнади. 900°C олтингугурт буглари фақат S<sub>2</sub> дан иборат бўлади. 1600°C олтингугурт молекулалари атомларига парчаланади.

Олтингугурт табиий соф маъданлардан махсус печларда суюқлантириб олинади. Водород сульфиддан олтингугуртни олиш – дастлаб тахминан уч қисм H<sub>2</sub>S ни ҳаво билан аралаштириб, ёндириб SO<sub>2</sub> олинади. Сўнгра водород сульфид S гача қуйидаги реакциялар бўйича қайтарилади:

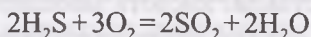


Водород сульфиднинг чекланган қисми ҳаво билан аралаштириб катализатор (шамот ғишти ёки боксид) иштирокида ёндирганда реакция қуйидагича ўтади:



Сўнгра олтингугурт буглари конденсацияланади. Бундай олтингугурт газли дейилади ва ДС (давлат стандарти) бўйича камида 99,00 масс.% S эга бўлиши керак.

Газлардан ажратиб олинган водород сульфидни ортиқча ҳаво иштирокида ёндириш йўли билан SO<sub>2</sub> олиб, сўнгра сульфат кислотасини олиш учун қуйидаги реакциядан фойдаланилади:



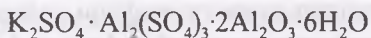
Катта миқдорда нам сакловчи бундай олтингугурт тўрт оксиди ҳўл катализ усули билан кислотага қайта ишланиши мумкин.

#### 4.2.6. Бошқа турдаги хом ашёлар

**Чиқинди кислоталар.** Бензин, мойловчи ёғлар ва бошқа нефт маҳсулотларининг олтингугурт тўрт оксиди ва тўйинмаган бирикмаларини тозалаш концентрланган сульфат кислотаси ёрдамида

амалга оширилади. Бу жараённинг чиқиндиси нордон гудронлар ҳисобланади. Гудронлар генератор гази ёки кокс гази ҳаво билан аралашмаси 700–750°C температурада олтингугурт диоксидигача қайтарилиши мумкин. Шундай усул билан органик моддалар аралашмаси билан ифлосланган ҳамда ишлатилган сульфат кислотасини қайта ишлаш мумкин. Ишлатилган кислота миқдори ортиб бориши туфайли уларни қайта ишлаш муаммо бўлиб қолмоқда. Ишлатилган сульфат кислотасининг концентрацияси қанча юқори бўлса, ҳосил бўладиган олтингугурт диоксидининг миқдори газларда шунча кўп бўлади. Баъзи бир ҳолларда ишлатилган сульфат кислотасининг миқдори 85–88 масс. %  $H_2SO_4$  бўлгунча дастлаб буғлантириш керак. 4 масс. % гача эркин  $H_2SO_4$  ва 25 масс. % гача  $FeSO_4$  иборат бўлган едириш (хурушлаш) эритмалари металллар сиртидаги окалина, яъни зангни сульфат кислота билан едиришда ҳосил бўлади. Бундай эритмалар шунингдек  $H_2SO_4$  ишлаб чиқариш учун потенциал хом ашё бўлиши мумкин.

**Алунитлар.** Тоза минерал таркиби қуйидаги формула билан ифодаланади:



Алунит маъданида унинг миқдори 50 масс. % гача бўлади.

Сульфат кислотани олиш учун, шунингдек, гипс, фосфогипс, натрий сульфати ва темир купороси хом ашё бўлиб хизмат қилиши мумкин. Улар юқори температура таъсирида  $SO_2$  ажралиши билан парчаланади. Фосфогипс катта миқдорда фосфор ўғитлари ишлаб чиқаришда чиқинди сифатида ҳосил бўлади. Уни қайта ишлаб, сульфат кислотаси ва цемент олиш мумкин. Бироқ шу кунгача бундай жараён технологияси мураккаблиги туфайли МДХ давлатларида ҳанузгача амалга ошмаган. Ҳозирги кунда республикамизда 100 млн. т фосфогипс тўпланиб қолган ва унинг ҳосил бўлиши давом этмоқда. Тошкент Кимё-технология институтида анча содда ва кам энергия сарфловчи сульфат кислота ва цемент олишнинг янги технологияси ишлаб чиқилган. Бу технология амалиётга жорий қилиниш арафасида турибди.

Олтинугуртнинг хом ашё манбаи рангли ва қора металлургия чиқинди газлари, шунингдек, иссиқлик электростанцияларининг тутун газлари ҳисобланади. Иссиқлик электростанциялари-

дан чиқадиган тутун газларнинг таркибида 0,1 дан то 1 %  $\text{SO}_2$  газлари киради. Бу газлар атмосферага чиқиб, уни ифлослантиради. Бу газлардан сульфат кислота олишда фойдаланишдан олдин уларни бойитиш лозим. Бойитишнинг бир нечта усуллари бўлиб, улардан аммоний ёки натрий сульфат бисульфат (цикл усул деб аталадиган) сувли эритмасидан  $\text{SO}_2$  ажратиб олиш энг макбул усули ҳисобланади. Бу усулни қўллаб, 100 % ли  $\text{SO}_2$  олиш мумкин.

#### 4.2.7. Олтингургуртли хом ашёларнинг қиёсий баҳоси

$\text{SO}_2$  ни  $\text{SO}_3$  гача оксидлаш ванадийли катализаторлар учун зарарли бўлган мишьяк ва фтор каби аралашмалари бўлмаган олтингургурт сульфат кислота ишлаб чиқаришда энг яхши хом ашё ҳисобланади. Бирок олтингургуртни ёндириш билан олинадиган сульфат кислотасининг таннархи қолчедандан олинганга қараганда юқори бўлади. 1 т  $\text{H}_2\text{SO}_4$  олтингургуртдан ишлаб чиқаришда хом ашё таннархи 80 % ни, қолчеданни ишлатганда умумий сарф-харажатлар таннархи 60 % ни ташкил қилади. Сульфат кислота ишлаб чиқариш учун рангли ва қора металллар саноати, нефтни қайта ишлаш ва газ саноати чиқинди газларидан хом ашё сифатида фойдаланиш техник иқтисодий кўрсаткичларнинг юқори бўлишини таъминлайди.

Сульфат кислотасини ишлаб чиқаришда ишлатиладиган хом ашё технологиясини, демак, капитал ва эксплуатация сарфларининг миқдорини аниқлайди.

### 4.3. ОЛТИНГУГУРТ ДИОКСИДИНИ ОЛИШ

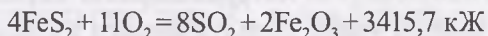
Кислород, азот, сув буглари ва бошқа аралашмаларга эга  $\text{SO}_2$  гази олтингургурт диоксида деб аталади. Олтингургурт диоксининг нисбий молекуляр массаси 64,063 га тенг. У ўткир хидли рангсиз газ, сувда яхши эрийди ва турғун бўлмаган бирикма – сульфид кислотани ҳосил қилади. 1 кг олтингургурт диоксининг ҳажми (идеал газ) 21,9 м<sup>3</sup> га тенг (газнинг ҳажми нормал шароитга келтирилган). Техник ҳисобларда 10–15 хажм %  $\text{SO}_2$  эга бўлган газ учун 1 хажм 1 мол  $\text{SO}_2$  22,4 м<sup>3</sup> деб қабул қилинади. Атмосфера босимида ва 10,1°С температурада олтингургурт диоксида осонгина суюқликка айланади, газсимон 100 % ли  $\text{SO}_2$   $2,7 \cdot 10^3$  Па босимда ва 15°С темпе-



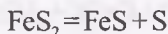
ратурада суюкликка айланади.  $\text{SO}_2$  суюк ҳолатда пўлат балонларда ташилади. У совитгич техникасида консерваловчи модда сифатида, айрим органик моддалар ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади.

### 4.3.1. Колчеданни куйдириш

Колчедан куйдириш жараёнининг йиғиндиси куйидагича стехиометрик тенглама билан ифодаланади:



Бу жараён кўп миқдорда иссиқлик ажратиш билан кечади. Ҳақиқатан куйдириш жараёни мураккаб ва бир қатор оддий оралик реакциялар орқали кечади. Тахминларга кўра олдин  $500\text{--}600^\circ\text{C}$   $\text{FeS}_2$  парчаланиши олтингугурт буғларининг ажралиши билан бошланади:



Бундай олтингугурт ўзига хос ҳаворанг аланга билан ёниб,  $\text{SO}_2$  ҳосил қилади. Бирок оралик реакцияларининг аниқ механизми аниқланмаган.

Колчеданни куйдирганда  $\text{SO}_2$  билан биргаликда  $\text{FeO}$  ҳосил бўлади, сўнгра у  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  га ўтади, куйдиришнинг охирида эса печ бўлими нормал ишлаганда таркибида  $0,5\text{--}1,5$  масс. %  $\text{FeS}$  эга бўлган  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ҳосил бўлади. Жараённинг бошланиши учун ёқилғи билан колчеданнинг алангаланишигача бўлган температурагача ёндирилади. Хом ашёдаги олтингугурт миқдorigа боғлиқ ҳолда алангаланиш температураси  $290$  дан  $420^\circ\text{C}$  атрофида бўлади. Кейинчалик куйдириш температураси ажралиб чиқаётган реакция иссиқлиги бўйича ушлаб турилади.

**Колчеданнинг ёниш тезлиги.** Жараён тезлиги кимёвий жараён кечаётган аппарат унумдорлигига боғлиқ; масалан, печнинг унумдорлиги олтингугурт хом ашёнинг ёниш тезлигига боғлиқ. Колчеданнинг куйиш тезлиги биринчи навбатда реакцияга киришувчи моддалар сиртларининг бир-бирига тегиб туришига боғлиқ. Бу жараён гетероген бўлганлиги учун газ (хаво) фазаси сирти ва қаттиқ (хом ашё) фазаси сирти бир-бирига тегиб туриши хом ашё заррачаларининг ўлчамларига ва ёниш зонасида аралаштириш даражасига



боғлиқ. Колчедан зарралари ўлчамлари канча кичик бўлса, кислород унинг ичларига енгил киради, олтингургурт эса тўла ёнади, натижада темир куйиндиси билан олтингургурт кам йўқолади.

Колчеданнинг ёниш тезлигига температура катта таъсир кўрсади. Температура қанча юқори бўлса, ёниш тезлиги шунча катта бўлади. Бирок температуранинг ортиши билан колчедан қовушиб пишиши мумкин. Кўпчилик колчеданлар 900°C да қовушиб пишади. Бу ҳолда куйдирилаётган материалларнинг айрим заррачалари ўзаро ёпишиб қолади, унинг сочилувчанлиги йўқолади ва куйдириш жараёни бузилади. Чанг-ҳаво аралашмаси кўринишида колчедан куйдирилганда юқори температурада жараённи олиб бориш мумкин. Температура 800 дан 1000°C гача кўпайтирилса, ёниш тезлиги 2,19 марта ортади. Бошқа бир хил шароитларда газда O<sub>2</sub> миқдорининг камайиши колчеданнинг куйдириш реакциясини секинлаштиради.

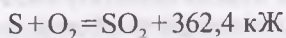
**Колчеданни куйдирганда газ таркиби.** Колчеданни куйдирганда 11 ҳажм кислороддан 8 ҳажм SO<sub>2</sub> олинади, 3/11 кислород эса темир ва 8/11 олтингургуртнинг оксидланишига сарфланади. Колчеданни куйдиришда назарий жиҳатдан SO<sub>2</sub> эга бўлган кислородсиз газни олиш мумкин:

$$\frac{21 \cdot 8/11 \cdot 100}{100 - 21 \cdot 3/11} = 16,2 \text{ хажмий \% да}$$

Қолгани азотдан иборат. Завод шароитида колчеданни қайнатма қатлам (КҚ) печларда куйдирганда газ аралашмасида одатда куруқ газга ҳисоблаганда 14 ҳажм % SO<sub>2</sub> бўлади. Амалда колчеданни куйдиришни олтингургуртнинг тўла ёнишини таъминлаш мақсадида ва SO<sub>2</sub> ни SO<sub>3</sub> гача каталитик оксидланиши учун ортикча кислород иштирокида амалга оширилади.

**Олтингургуртни ва бошқа олтингургуртли хом ашёларни ёндириш.**

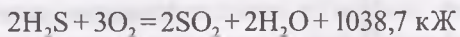
Олтингургуртнинг ёниши куйидаги тенглама бўйича ўтади:



1 кг олтингургурт ёнганда 9293,4 кЖ иссиқлик ажралиб чиқади.

1 моль кислороддан 1 моль  $\text{SO}_2$  олишади. Шундай экан, 21 ҳажм %  $\text{O}_2$  ли ҳавода олтингугурт тўла ёнса, олинган кислородсиз газ 21 ҳажм  $\text{SO}_2$  эга бўлади. Амалий шароитларда газда 12 ҳажм %  $\text{SO}_2$  гача бўлади.

Олтингугурт ёндирилганда қуйидаги реакция кетади:

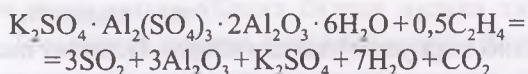


Бу метод бўйича сульфат кислота ишлаб чиқариш учун фойдаланиладиган олтингугурт газини  $\text{SO}_2$  ва сув буғлари миқдори кенг чегара атрофида бўлиб, дастлабки газ таркибига ва уни тозалаш учун ишлатилган усулга боғлиқ. Олтингугурт водородни ҳавода ёндирганда газ  $\text{SO}_2$  миқдори 13 ҳажм % атрофини ташкил қилади.

Фосфогипсни парчалаш реакцияси углерод иштирокида ўтади ва иссиқлик сарфлашни талаб қилади:



Алунитларни қайтариш реакцияси қуйидаги тенглама бўйича амалга ошади:

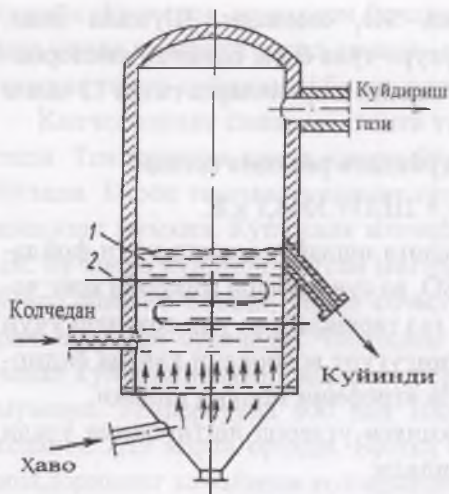


Бу ҳолда газда  $\text{SO}_2$  миқдори 75 ҳажм, % етиши мумкин. Олинган газ ҳаво билан сийраклаштирилади ва контакт усули билан сульфат кислота олишга юборилади. Калий сульфат ўғит сифатида, гил тупрок,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  эса алюмин металини олиш учун фойдаланилади.

#### 4.3.2. Олтингугуртли хом ашёни ёндиришда ишлатиладиган печлар

Ҳозирги вақтда колчеданни қуйдириш учун қайнама қатламли ва чангсимон қуйдириш печлари қўлланилади. Олтингугуртнинг ёндириш форсункали ва циклон типидagi печларда, шунингдек, қайнама қатламли печларда амалга оширилади.

**Қайнама қатламли печларда колчеданни қуйдириш.** Бундай печлар 45 %  $\text{FeS}_2$  ҳисоблаганда 100, 200 ва 450 т/сут унумдорликка эга. Печларнинг унумдорлиги 1 сутка давомида печда ёндирилган 45 масс. % олтингугуртли (шартли колчедан) колчедан миқдори би-



4.6-расм. Колчеданни куйдириш учун ҚҚ ли печ: 1—қайнама қатлам; 2—совутиш элементи.

қопланган бўлиб, корпуси пўлатдан иборат. Печнинг пастки қисмида панжара жойлашган, панжара ўпириладиган ёки қалпоқчали бўлиши мумкин. Колчедан омбордан тасмали транспортёр ёки элеватор ёрдамида бункерга берилади, у ердан ликопчали таъминлагич ва солинадиган камера орқали печга келади. Колчеданнинг ёниши учун ҳаво вентилятор билан панжара остига берилади. Бир-бирига жуда яқиндан туташган колчедан заррачаларининг қовушиб пишишига йўл қўймаслик учун қатламда температура  $800\text{--}850^\circ\text{C}$  дан юқори бўлмаслиги керак.

Керак температурани ушлаб туриш учун қайновчи қатламда совутиш элементлари ўрнатилади, булардан сув ўтиб туради. Ёнувчи колчедан ҳавонинг контакти давомийлиги, қайнама қатламнинг баландлигига боғлиқ ва у  $9\text{--}12^\circ\text{C}$  га тенг.  $12\text{--}14$  ҳажм %  $\text{SO}_2$  эга бўлган куйдирилган газ  $850\text{--}900^\circ\text{C}$  температурада қозон-утилизаторга тушади, бу ерда тезда  $400\text{--}450^\circ\text{C}$  совийди. Бу ҳолда қозон-утилизаторда 1 т куйдирилган колчеданга (45 % S га ҳисобланганда) 1,2–1,5 т қизитилган буғ ҳосил бўлади. Куйдирилган газ қозон-утилизаторидан тозалашга юборилади.



Темир куйиндиси (огарок) қайнама қатлам баландлигида бўлган печ деворидаги тешиқдан бўшатилади ва у куйинди омборига юборилади ёки истеъмолчига берилади. Қайнама қатлам печидан чиқаётган куйинди асосан  $Fe_3O_4$  дан иборат бўлади. Олтингурут кислотали цех печларидан куйинди олиб кетиш учун тинимсиз занжирли қирғичлар ҳаракатланадиган кўзғалмас металл тарновдан иборат қирғичли транспортёрлардан фойдаланадилар. Қирғичлар куйиндини ҳаракатлантиради.

Куйинди пневматик усулда ҳам чиқариб ташланиши мумкин. Қувур ўтказгичларда сийракланишни вужудга келтирганда ҳавода муаллақ ҳолатдаги куйинди аралашмаси ҳосил бўлади, у 30 м/с гача тезликда ҳаракат қилади. Қувур ўтказгичларнинг шаклдор қисмларининг тез ейилиши ва куйиндидан қувур ўтказгичларда тикинлар ҳосил бўлиши, шунингдек, энергиянинг анча сарфланиши пневматик усулнинг камчилиги ҳисобланади.

Куйиндини ажратиб олиш учун, шунингдек, гидравлик усулдан ҳам фойдаланилади. Бу ҳолда тозаланган сув яна пульпа ҳосил қилиш учун ишлатилади. Ҳосил бўлган пульпа тиндиргичларга юборилади. Тозаланган сув яна пульпани ҳосил қилиш учун ишлатилади. Бу усулнинг камчилиги шундаки, тоза сув сульфат кислота, мишьяк, темир сульфат ва бошқалар билан ифлосланади.

Қайнама қатламли печларнинг афзаллиги – шартли колчеданга айлантириб ҳисоблаганда 45 масс. % S унинг унумдорлигининг катталиги 100 то 450 т/сут гача;  $FeS_2$  ни куйдиргандаги реакция иссиқлигидан тўла фойдаланиш мумкинлиги (1 т колчедандан 1,5 т гача босими  $40 \cdot 10^5$  Па ва температураси  $420^\circ C$  бўлган буғни олиш мумкинлиги) ҳамда 12–14 ҳажм %  $SO_2$  ва 0,1 ҳажм %  $SO_3$  эга бўлган куйдириш гази олинади. Куйдириш газида анча миқдорда  $SO_3$  мавжуд бўлганда газ ўтказгичлар, электрофилтр электродлари ва қозон-утилизаторларнинг қувурлари улар устида сульфатли қатлам ҳосил бўлиши ҳисобига коррозияга (емирилишга) учрайди.

Қайнама қатлам печларида колчеданни куйдирганда мишьяк куйинди билан бирга ажралиб чиқади. У  $As_2O_3$  нисбатан яхши адсорбент, шунингдек, катализатор ҳисобланади. Шунинг учун  $As_2O_3$  куйинди билан бирикиб, учмайдиган арсенталарни ҳосил қилади ва куйинди таркибида қолади. Натижада куйдириладиган газ вана-



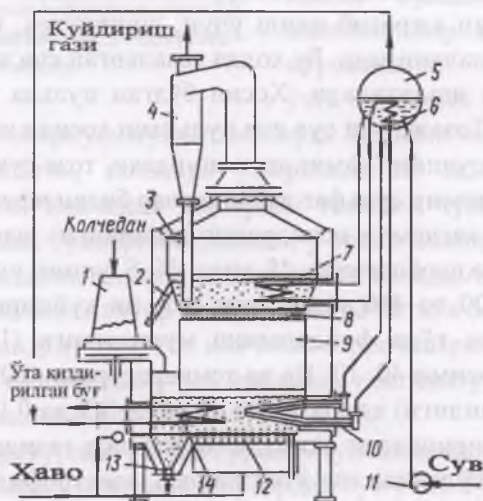
дийли катализаторга салбий таъсир этувчи мишьяк аралашмасидан қисман тозаланади ва унинг фаоллиги камаяди.

Анча миқдорда куйдирувчи газлар куйинди массасидан (40 дан то 100 масс. % гача) чанг билан ўчиб кетиши қайнама қатламли печларнинг асосий камчилиги ҳисобланади.

Қайнама қатламли печларнинг технологик кўрсаткичлари:

Унумдорлиги, т/сут (45 % S) .....	200
Куйдириш жадаллиги, 1 м <sup>3</sup> печ ҳажмига кг/сут .....	1000–2000
Печда газ тезлиги, м/с .....	0,6–1,0
Газнинг печда бўлиш вақти, с .....	9–12
Қайнама қатлам баландлиги, мм .....	800–1000
Куйдириш газида SO <sub>2</sub> миқдори, ҳажм % .....	12–14

**Икки қайнама қатламли печ (ИҚҚ) нинг бир қатламли печдан фарқи у пастки ва юқори қатламга эга (4.7-расм). Ҳаво колчеданнинг**



4.7-расм. Икки қайнама қатламли печ:

1 – тарелкасимон таъминлагич; 2, 13 – устки ва остки қайнама қатламлардан куйиндини тушириш тарновчаси; 3 – печнинг тепадаги зонаси; 4 – куйиндини қайтариш циклони; 5 – қозон барабани; 6 – таъминлайдиган сув иситгичи; 7, 10 – устки ва остки қайнама қатламнинг совитувчи элементлари; 8 – устки қайнама қатламдан ўпирилиб ўтиб кетадиган панжараси (тўри); 9 – печнинг пастки зонаси; 11 – таъминловчи сувни узатиш учун насос; 12 – пастки қайнама қатламдан ўпирилиб ўтмайди панжара; 14 – буг киздиргич.

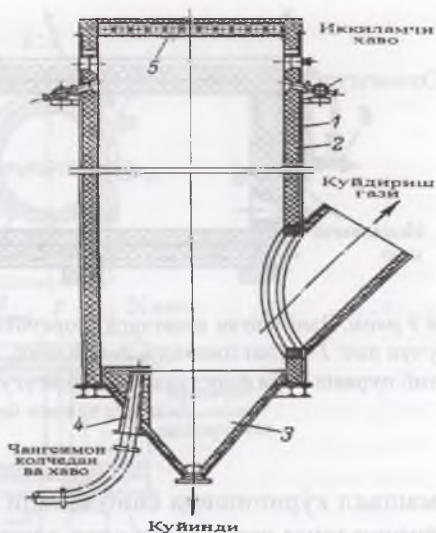
пастки қатламга берилади, юқориги қатламга эса пастки қатламдан куйдириш гази келади. Йирик куйинди циклонидан ўтиб, қайта куйдириш учун яна юқориги қатламга қайтади. Куйиндида мавжуд бўлган (Cu, Zn ва бошқа) металлларнинг бу қатламда сульфатланиши бошланиб, сульфат кислотада эрийдиган тузларнинг ҳосил бўлиши билан тугайди.

**Чангсимон куйдириш печида флотацион колчедан муаллақ ҳолда куйдирилади ва куйдириш жадаллиги  $1000 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{сут}$  ни ташкил этади. Бу печлар конструкцияси бўйича содда (4.8-расм) ва куйдириш жараёнининг осонлиги билан фарқланади.**

800 °C температурагача бўлган печдан чиқаётган газлар  $12 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (1 т/т колчедан гача) босимли буғ олиш учун фойдаланилади. Бундай печларнинг камчилигига печга колчеданнинг нотекис узатилиши ( $\text{SO}_2$  ни печ газида 9–12 ҳажм % атрофида ўзгариб туриши), газнинг кўп микдорда қайта чангланлиши ( $100 \text{ г/м}^3$  гача) ва флотацион майдалашда электр энергиянинг қўшимча сарфланиши киради.

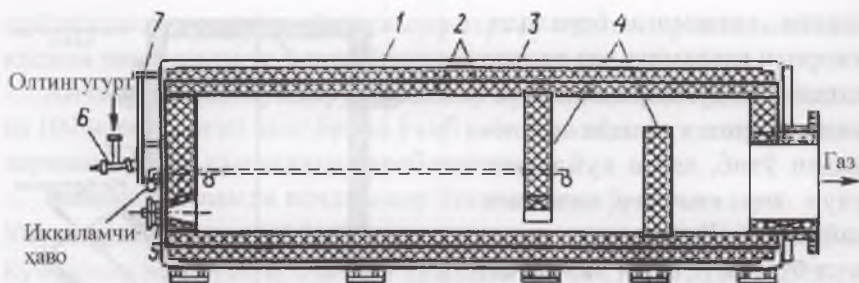
Ҳозирги вақтда ажратиб олинадиган куйинди цемент саноатида, сурик ва мумия каби минерал бўёқлар ишлаб чиқаришда ишлатилади.

**Олтингургуртни куйдириш учун форсунка типидagi печлар (4.9-расм).** Бундай печ ичи ўтга чидамли ғишт (1) билан қопланган горизонтал жойлашган пўлат цилиндр (2) дан иборат. Суюлтирилган олтингургурт форсунка (6) оркали печнинг ўтхонасига берилади, бу ерга бир марта олтингургуртнинг ёниши учун зарур бўлган ҳаво узатилади. Форсунка (6) дан олтингургурт чиқишида буғланади ва



4.8-расм. Чангсимон колчеданни куйдириш учун печ:

1 – цилиндрлик қобик; 2 – қоплама; 3 – бункер; 4 – колчедан ва ҳаво аралашмасини узатиш учун форсунка; 5 – совутовуви экран.



4.9-рasm. Чангланган ҳолатдаги (форсункали печ) суюк олтингургуртни ёндириш учун печ: 1 – пўлат цилиндр; 2 – коплама; 3 – асбест; 4 – тўсиқ; 5 – ёқилғини чангитиб пуркаш учун форсунка; 6 – олтингургуртни чангитиб пуркаш учун форсунка; 7 – печга ҳавони бериш учун кути.

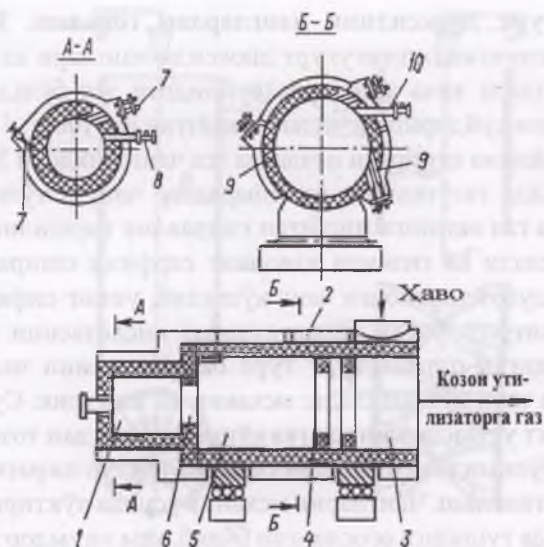
машъал кўринишида ёниб кетади. Олтингургурт буғларининг тўла ёниши учун иккиламчи ҳаво печга берилади ва ҳаво билан олтингургуртнинг ёниш маҳсулотлари аралashiшини яхшилаш учун иккита тўсиқ ўрнатилади.

Ифлосланган олтингургуртни ғиштдан бажарилган тўғри бурчак шаклидаги қайтарадиган типдаги печларда ёндирадilar. Олтингургурт буғ кўринишида ҳаво оқимида печ гумбази орасида ёниб кетади. Бундай печларнинг жадаллиги  $1 \text{ т/м}^3 \text{ сут}$ .

Ҳозирги кунда олтингургуртни ёндириш учун **циклон печлари** (4.10-рasm) кенг миқёсда қўлланилмоқда. Бу печларнинг фарқи шундаки суюлтирилган олтингургурт ва ҳаво  $100 \text{ м/с}$  яқин тезликда форсунка орқали тангенциал йўналишида берилади. Газ ва олтингургурт буғларининг айланма ҳаракатида жадаллик билан аралashiш вужудга келади ва олтингургуртнинг ёниш тезлиги ортади.  $13$  ҳажм %  $\text{SO}_2$  эга бўлган олтингургурт газидан  $800^\circ\text{C}$  температура атрофида қозон-утилизаторга киради, бу ерда  $39 \cdot 10^5 \text{ Па}$  босимда буғ ҳосил бўлади. Бундай печларнинг ишлаб чиқариш унумдорлиги суткасига  $100 \text{ т}$  олтингургуртга етади. Ҳозирда суткасига  $300 \text{ т}$  ва ундан ортик олтингургурт ишлаб чиқариш қувватига эга бўлган циклонли печлар лойиҳаланапти.

Циклонли печ форкамера (1) ва иккита сиқадиган халқалар (4, 6) билан қўшимча ёндирадиган иккита камера (3) ва (5) дан иборат





4.10-расм. Циклон печ:

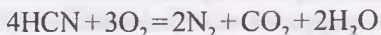
1 – форкамера; 2 – хаво кутиси; 3, 5 – ёндириб бўлиш камераси; 4, 6 – камбарланиш халқаси; 7, 9 – хаво берувчи сопло; 8, 10 – олтингугуртни берувчи форсункалар.

бўлади. Беришдан олдин суюлтирилган олтингугурт тиндирилади ва филтрланади.

Бўлак кўринишдаги олтингугурт қайнама қатламли печларда ҳам ёндирилади. Бу ҳолда суюлтиргичлар, насослар ва филтрлар керак бўлмайди.

**Водород сульфидни ёндириш учун печлар.** Ичи ўтга чидамли ғиштлар билан қопланган пўлатдан ясалган цилиндрик печда водород сульфиди ёндирилади. Портлаш хавфи бўлганлиги туфайли печнинг пастки қисмида огоҳлантирувчи клапан ўрнатилган. Печнинг юқори қисмида ёндиргич орқали водород сульфид келади, хаво билан аралашади ва печга узатилади, машғал кўринишида ёниб кетади. Куйдирилган газ печнинг пастки қисмидан чиқиб кетади.

Водород сульфидли газда водородли циан учраса,  $H_2S$  ёндириш азот оксиди ҳосил бўлишини бартараф этиш учун реакция кислород етишмаганда олиб борилади. Жараён куйидаги кўринишда бўлади:





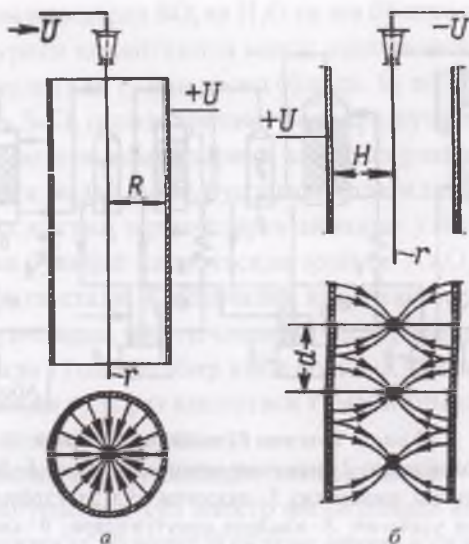
**Олтингугурт диоксидини чанглардан тозалаш.** Колчеданни куйдиришда олинган олтингугурт диоксиди чанглари ва рангли металлургия газлари анча микдорда куйиндига эга бўлади. Шундай экан, чангсимон куйдириш печидан чиқаётган газ  $100 \text{ г/м}^3$  гача чангга эга бўлади, қайнама қатламли печларда эса чанг микдори  $300 \text{ г/м}^3$  гача етади. Натижада газўтказгич ва аппаратлар чангга тўлиб тикилиб қолади, бу эса газ оқимига нисбатан гидравлик қаршиликнинг ошишига олиб келади ва тизимда ҳавонинг сарфини оширади. Бундан ташқари, маҳсулот таркибига чанг қўшилиб, унинг сифатини ёмонлаштиради, нитроза усули билан сульфат кислотасини олиш учун фойдаланиладиган олтингугурт тўрт оксиди газини чангдан тозалашда иккита усул қўлланилади: механик ва электрик. Сульфат кислотани контакт усулида олишда газ қўшимча чангдан тозаланadi. Бу ҳолда ювиш бўлимида печ газидан селен ва теллур ажратиб олинади.

**Механик тозалаш.** Чангларни механик усулда чўктириш оғирлик кучи таъсирида тушишга асосланган бўлиб, кам унумдор тизимларда ишлатилади. Замонавий юқори унумдор сульфат кислотали тизимларда инерцион тозалаш усули қўлланилади. Бу усул газлар ҳаракати йўналишини кескин ўзгартиришга асосланган бўлиб, натижада газ ҳаракати камайиб, ундан чангларнинг энг йириклари пастга туша бошлайди. Бундай ускуналарга қозон-утилизаторлари киради.

Газларни дағал тозалаш учун марказдан қочма кучларга асосланган ускуна – циклонлар ёки мульти-циклонлар ишлатилади.

**Электрик тозалаш.** Газларни тозалаш учун ишлатиладиган электрфилтрларни қувурчасимон ва пластинкачасимонларга бўладилар. Электр филтрнинг принципиал схемаси 4.11-расмда кўрсатилган расмда кўриниб турганидек, иккита электрод орасидан газ ўтказилади. Электродлардан бири мусбат зарядланган ва ўтирадиган электрод деб аталади. Ўтирадиган электродлар ерга уланади. Бошқаси манфий зарядланган ва коронирланган электрод деб аталади. Электрод филтр юқори кучланишли 60–80 минг V ли доимий ток билан таъминланади.

Электродлар орасига ток берилганда электр майдони ҳосил бўлади. Бу вақтда коронирланган электрод атрофида ўтаётган газни жадал ионлаштираётган корон деб аталадиган рангсиз-мовий нурланиш ҳосил бўлади. Мусбат зряядланган ионлар коронирланган электрод томон интилади ва нейтралланади. Бу шароитда газдаги

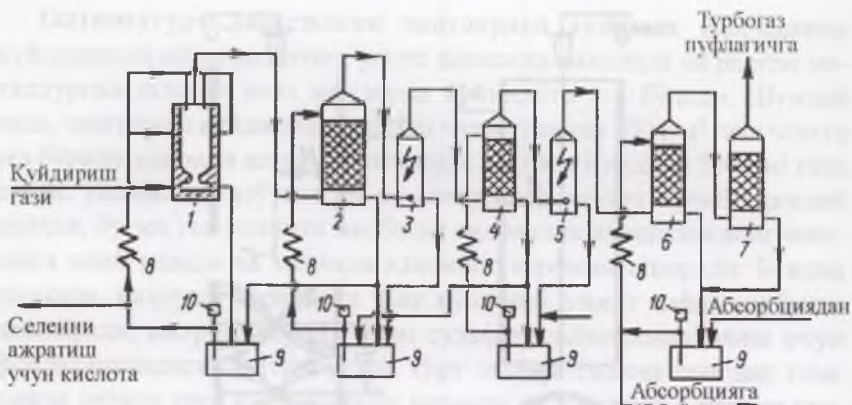


4.11-расм. Курук электрфилтрларнинг принципиал схемаси:

*a* – кувурчалардан ясалган электрфилтр; *б* – пластинкасимон электрфилтр (электронлар ва ионлар оқимининг йўналиши стрелкалар билан кўрсатилган);  $U$  – электродлар устига қўйилган кучланиш;  $R$  – кувурчасимон чўктириш электродларининг радиуси;  $r$  – коронирловчи электроднинг радиуси;  $H$  – ўтказгич ва пластинкасимон электродлар ўртасидаги масофа;  $d$  – ўтказгичлар ўртасидаги масофа.

муаллақ чанг ёки суюқлик заррачалари тегишли зарядга эга бўлиб, ўтириш электродига тортилади ва зарядини бериб, унинг сиртига ўтиради. Тозалашга келаётган газ электр майдонида 8–10 с давомида бўлади, электр филтрда унинг ҳаракат тезлиги 0,7–1,2 м/с. Печ газларини ўта тозалаш учун (горизонтал куйиндилли, уч майдонли электроднинг ўтириш сирт 20 м<sup>2</sup> тенг бўлган) электр филтрлардан фойдаланилади. Улар электродларни механик тебратиш тузилмаси билан таъминланган курук ОГ–3–20 типидagi электр филтрлар ишлатилади. Бундай электр филтрларда тозалаш даражаси 99,9 % га етади. Ўтирувчи электродларнинг деформацияга учрашига йўл қўймаслик учун температураси 475°C дан ошмаслиги керак. Газлар температураси электр филтрдан чиқишда 300–400°C бўлади.

Куйиндилли электр филтрлар учун температуранинг пастки чегараси 275°C атрофида бўлади. Бундан пастроқ температурада сув



4.12-расм. Тозалаш бўлимининг схемаси:

1–биринчи ювиш минораси; 2–иккинчи ювиш минораси; 3–биринчи ҳўл электрфильтр; 4–намлатиш минораси; 5–иккинчи ҳўл электрфильтр; 6–куритиш минораси; 7–томчи ушлагич; 8–кислота совутгичлари; 9–кислота йиғичлар; 10–чўқтириладиган насослар.

буғларининг доимо куйдириш газларида мавжуд бўлган  $\text{SO}_3$  билан бирикиши натижасида кислота тумани ҳосил бўлади ва электр филтрларнинг пўлат қисмларини коррозияга учратиши мумкин.

Электр филтрлардан чиқаётган иссиқ газ  $0,05\text{--}0,1 \text{ г/м}^3$  куйинди чангларига эга бўлади. Бу чанглар газ контакт ускунасига берилаётганда катализатор қатламларига тиқилиб қолиши мумкин. Бундан ташқари колчеданни куйдираётганда унинг таркибидаги аралашган мишьяк ва селен  $\text{As}_2\text{O}_3$  ва  $\text{SeO}_2$  буғлари кўринишида газга ўтади,  $\text{SO}_2$  ни оксидловчи катализаторни заҳарлайди, айниқса  $\text{As}_2\text{O}_3$ . Бу аралашмалардан тозалашни ювиш бўлимида амалга оширадилар. Колчедандан контактли сульфат кислотани ишлаб чиқаришда тозалаш бўлимининг типик схемаси 4.12-расмда кўрсатилган.

### 4.3.3. Газни аралашмалардан тозалаш

Куйинди чанги қолдиклари,  $\text{As}_2\text{O}_3$  ва  $\text{SeO}_2$  буғлари бўлган куйдириш газы кизиган электр филтрлардан кейин  $400^\circ\text{C}$  температура атрофида ювиш бўлимига келади. Бу ерда ювилаётган температура  $70^\circ\text{C}$  бўлган сульфат кислотаси билан учрашиб, совийди. Ювиш бўлимида биринчи ювиш минораси одатда  $65\% \text{ H}_2\text{SO}_4$  билан юви-

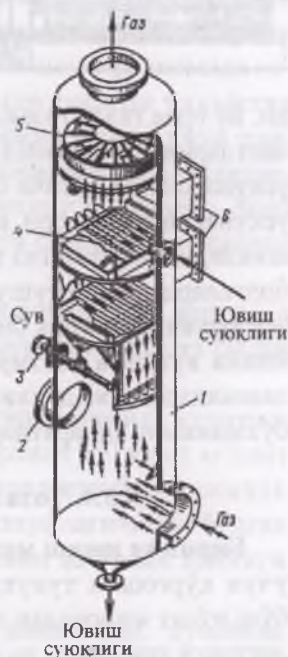


лади. Доимо кам миқдорда  $\text{SO}_3$  ва  $\text{H}_2\text{O}$  га эга бўлган куйдириш газининг температураси камайганида ювиш минорасида майда дисперс олтингугурт кислотали туман ҳосил бўлади. Бу ҳолда газ таркибида бўлган  $\text{As}_2\text{O}_3$  ва  $\text{SeO}_2$  оксидларининг буғлари туман заррачаларида ва сульфат кислотаси томчиларида конденсирланади. Температуранинг пасайиши билан  $\text{As}_2\text{O}_3$  буғсимон ҳолатидан қаттиқ ҳолатга, яъни ўта майда қаттиқ заррачаларга айланиб ўтади. Улардан бир қисми юваётган сульфат кислотасида эрийди,  $\text{As}_2\text{O}_3$  концентрацияси эса 1 масс. % га етади. Кейинчалик кислотани совитгандан сўнг кислота ўтказгичларда, йиғгичларнинг деворларида ва совитгичларнинг ўзларида тўпланиб бир қисм мишьяк чўкмага тушади.

Селен диоксида сульфат кислотаси тумани томчиларида ва ювадиган кислотада яхши эрийди.

Сульфат кислотаси туманидан мишьякдан ва селендан узилкесил (батамом) тозалаш хўл электр филтрларда амалга оширилади. Ҳар бир босқичда 70 минг В бўлган юкори кучланишда ишлайдиган иккита параллел уланган электр филтрлар бор. Тозалашга келаётган газ чўктиривчи ва коронирловчи электродлар ўртасида тешиб ўтишни ёки бузилишини йўқотиш учун намланган бўлиши керак. Шунинг учун электр филтрнинг биринчи босқичидан сўнг газ намловчи минорага, сўнгра эса иккинчи босқичига келади. Охирги жуфт нам электр филтрлардан чиқаётган газ деярли зарарли аралашмалардан (сув буғларидан ташқари) тозаланиб, кейин куритишга берилади.

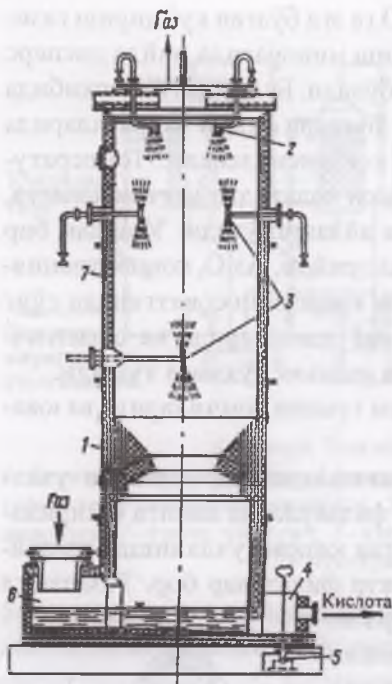
Газларни ювиш учун Свенко ускунаси ҳам ишлатилади (4.13-расм).



4.13-расм. Свенко аппарати:

- 1 – корпус; 2 – кўриш люки; 3 – сачратгичлар;  
4 – тарелкалар; 5 – томчиларни уриб майдалагич;  
6 – куриш ва тарелкаларни олиш учун дарчалар  
(люклар).





4.14-расм. Ички бўш ювиш минораси: 1—минора корпуси; 2, 3—кислотани чанглаштиргичлар; 4—кислотани олиб кетиш кутиси; 5—шламни чиқариб юбориш учун нов (тарнов); 6—газ кириши учун кути; 7—коплама.

Ускунанинг пастки бўш қисми сачратгич (3) ёрдамида сульфат кислота билан ювилади; ускунанинг юқори қисми шахмат тартибида жойлашган газлар ўтиши учун барботаж типидagi (4) ликопчаларда тешиклар бўлади. Ҳар бир тешикда сульфат кислота томчиларини уриб туширадиган болғача (5)лар туради. Печларда куйдирилган газ иссиқ электр филтрларни четлаб ўтиб, ускунанинг пастки қисмига келади. Бу ерда газлар ювиладиган сульфат кислота ёрдамида куйинди чангларидан тозаланади. Ювувчи кислота сачратгичлари ёрдамида ускуна ҳажми бўйича сачратилади. Чангдан тозаланган газ Свенко ускунасининг юқори қисмига келади. Барботаж ликопчалари тешикларидан ўтган газ томчи ва кўпик холидаги уриб туширадиган болғалардан оқиб тушувчи ювувчи кислоталар билан учрашади, бу эса ювувчи суюқлик билан газ ўртасида учрашадиган ривожланган юзани вужудга келтиради. Бундай шароитлар газни зарарли аралашмалардан жадаллик билан тозалашни таъминлайди. Тозалаш бўлимининг аппаратлари.

#### 4.3.4. Тозалаш бўлимининг аппаратураси

**Биринчи ювиш минораси** (4.14-расм) — коррозиядан химоялаш учун кўрғошин тунукаси ёки полиизобутилендан ишланган ичи бўш пўлат минорадан иборат. Ювадиган кислота, насос билан коллекторга узатилади ва пуркагичлар орқали бир текис минора кеси-

ми бўйича тақсимланади. Пуркагичлар сони 12 тадан 20 донагача бўлади. Миноранинг пастки қисмига тораювчи тешиқлар орқали газ келади. Ювадиган минорада печ гази 350–400 дан то 80–90°C гача совийди.

**Иккинчи ювиш минораси** пўлатдан бажарилган, унинг корпуси кислотага чидамли материаллардан териб чиқилган. Иккинчи минора ювувчи кислота билан газ учрашиши сиртини ошириш учун керамик ҳалқалардан иборат насадка билан таъминланган. Газ оқими гидравлик қаршилигини камайтириш учун насадкани тўғри қаторлар билан жойлаштирадilar: пастда ўлчамлари 150×150; 120×120 ва 80×80 мм йирик ҳалқалар, устида ўлчамлари 50×50 мм бўлган кичикроқ ҳалқалар жойлаштирилади. Минорани ювиш турбинка ёки бошқа типдаги ювгич ёрдамида амалга оширилади. Сульфат кислотаси билан ювиладиган минораларда минора кесимининг 1 м<sup>2</sup> юзасига ювиш зичлиги 15–18 м<sup>3</sup>/соат ни ташкил қилади. Газларни сув буғларидан тозалаш қуритиш минорасида олиб борилади. Қуритиш минораси пўлатдан бажарилади ва кислотага чидамли цемент асосида кислотага чидамли ғишт билан қопланади. Ювувчи 93–94 % ли H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ни тақсимлаш учун миноранинг тепа қисмида горизонтал тақсимловчи плита бор. Қуритиш минорасидан чиқаётган газ билан олиб кетилаётган кислота томчиларини ушлаш учун томчи ушлагич вазифасини бажарувчи учи бўш минорани ўрнатадилар. Унда ушланган кислота қуритиш минорасининг йиғгичига оқиб тушади. Қуритиш минораси иккинчи минора сингари насадкалар билан тўлдирилган.

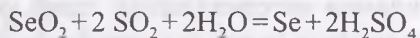
Марказдан қочирма типдаги марказдан қочирма ва вертикал чўктириладиган насослардан минораларни сульфат кислота билан ювиш учун фойдаланилади.

Босимни вужудга келтириш ва газни узатиш тизимида қуритиш кислотаси томчи ушлагичидан сўнг унумдорлиги 180 минг м<sup>3</sup>/соат ва тахминан 27,5 кПа босимни вужудга келтирадиган бир босқичли турбоҳайдагичларни ўрнатадилар. Турбогазпуфлагичгача бўлган барча ускуналар сийракланади, контакт бўлими ва ундан кейинги ускуналар босим остида бўлади.

Қуритиш минораси олдидан ҳавони намликдан қўшимча қуритиш мақсадида колчеданни ёки олтингургуртни ҚҚ печларда

ёндирганда печларда ҳосил бўлган газ ҳаво билан 12–14 дан то 8–9 хажм %  $\text{SO}_2$  гача сийраклашади.

Ювиш босимининг минораларида куйдириш газларидаги  $\text{SeO}_2$  сульфат кислотаси билан ютилади ва шу вақт ичида  $\text{SeO}_2$  то Se гача куйидаги тенглама бўйича қайтарилади:

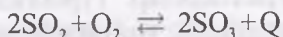


Ювиш кислотасидан металл селен чанги билан бирга тиндиргич, тўплагич ва совитгичларда қисман 5 масс. % Se атрофида камбағал селен шламлари кўринишида чўқади. Қисман бой селенли шлам олтингургуртли кислота туманлари конденсацияси туфайли ҳўл электр фильтр электродларида чўқадилар. Конденсатдан селенни тўла ажратиб олиш учун тиндиргичга юборадилар, бу ерда селен чўқтирилгач, селенга бой шлам ҳосил бўлади. Селен шламларни қайта ишлаш, фильтрлаш натижасида олинган чўкмани сода эритмаси билан нейтраллашдан ва уни сув билан ювиш ва фильтрлашдан иборат бўлади. Айланма барабанда қуритилган нейтралланган селенни қоплайдилар ва кейинги ишлов учун жўнатадилар. 1 т колчедандан 10 дан 50 г металл селен олинади.

#### 4.4. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ КОНТАКТ УСУЛИ

##### 4.4.1. Олтингургурт тўрт оксидининг оксидланиши. Оксидланиш жараёнининг назарий асослари

$\text{SO}_2$  оксидланиш реакцияси мувозанати. Ҳар бир кимёвий технологик жараён учун мувозанат ҳолатига назарий жиҳатдан максимал яқинлашиш шароити, сўнгра кинетик шароити аниқланади. Бу эса мувозанат ҳолатига тез яқинлашишни таъминлайди. Юқорида айтилганидек,  $\text{SO}_2$  ва  $\text{SO}_3$  оксидлаш жараёни қайтар ва иссиқлик ажралиш билан ўтади.



Олтингургурт диоксидини оксидлаш даражаси  $\text{SO}_3$  гача оксидланган  $\text{SO}_2$  миқдорининг оксидланишга кетган  $\text{SO}_2$  умумий миқдорига нисбати бирлик усулида ёки процентларда ифодаланади. Агар тўғри



ва тескари реакциялар тезлиги тенг бўлса, унда ушбу газли тизим мувозанат ҳолатида бўлади ва доимий температурада унинг таркиби вақт бўйича ўзгармайди. Реакция тезлиги бу шароитда 0 га тенг бўлиб қолади. Бу ҳолда айланиш даражаси мувозанатли дейилади ва қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$X_M = \frac{P_{SO_3}}{P_{SO_2} + P_{SO_3}},$$

бу ерда:  $P_{SO_2}$ ,  $P_{SO_3}$  –  $SO_2$  ва  $SO_3$  нинг мувозанат парциал босими.

Ле-Шателье принципига мувофиқ  $SO_2$  нинг  $SO_3$  га айланиш мувозанат даражаси температурани ортиши билан пасаяди. Ҳосил бўлаётган азот уч оксидини реакция зонасидан четга чиқариш реакция мувозанати  $SO_3$  ҳосил қилиш томонига силжитади ва оксидлаш реакцияси назарий жиҳатдан охирига бориши мумкин. Шу принципга кўра сульфат кислота ишлаб чиқариш тизими икки марта контактлашишга ва икки мартали абсорбцияга асосланган (ИК-ИА).

Босимнинг ортиши билан жараён мувозанати  $SO_3$  ҳосил бўлиш томонга силжийди. Бироқ бундай жараён саноат миқёсида амалда ишлатилмайди, аммо бир қатор мамлакатларда (Россия, Франция, Канада) бу йўналишда илмий ишлар олиб борилмоқда (лойиҳалар ишлаб чиқилган, саноат миқёсида тажриба қурилмалари яратилган).

Контактлаштириш даражаси мувозанати ( $SO_3$  чиқиш мувозанати) фақат температурага боғлиқ мувозанат константаси –  $K_m$  миқдорини аниқлайди. Вант-Гоффа тенграмаси бўйича:

$$K_m = 4905,5/T - 4,6455 \quad (a)$$

Турли температураларда тенглама (a) бўйича ҳисобланган  $K_m$  қиймати қуйида келтирилган:

С°	$K_m$	С°	$K_m$
390	566	575	13,7
425	241,4	600	9,37
500	49,8	650	4,68

$K_m$  қанча катта бўлса,  $SO_2$  ни  $SO_3$  гача оксидлаш даражасининг мувозанати шунча катта бўлади. Константа мувозанати қийматидан кўриниб турибдики,  $SO_2$  ни  $SO_3$  гача оксидлаш жараёни температу-



ра ортиши билан мувозанатнинг айланиш даражаси ( $X_m$ )  $K_m$  кичрайишига мувофиқ камаяди.

**SO<sub>2</sub> оксидланиш тезлиги.** Жараённинг муҳим кўрсаткичи охирги маҳсулотнинг ҳосил бўлиш тезлиги ҳисобланади. SO<sub>2</sub> билан O<sub>2</sub> орасидаги реакция катализатор сиртида ўтади. SO<sub>2</sub> ни SO<sub>3</sub> каталитик оксидланиш жараёни қуйидаги босқичлардан таркиб топган бўлади:

1) газ массасидан таъсирлашувчи молекулаларнинг катализатор юзасининг сиртига кириши;

2) бу молекулаларнинг катализатор ғовакларига диффузияси;

3) ички ғовак юзаларидаги реакция;

4) реакцияга киришиб бўлган молекулаларнинг катализатор ташки юзасининг сиртига тескари диффузияси;

5) таъсирлашувчи молекулаларни газ оқимиغا ўтказиш.

Реакция ўтиши учун SO<sub>2</sub> ва O<sub>2</sub> молекулалари газ оқимидан олдин катализатор юзасининг сиртига, сўнгра катализаторлар ички ғовакларига кириши керак. Ҳосил бўлган SO<sub>3</sub> катализаторлар юзининг сиртидаги ғовакларидан қайта йўлни босиб ўтиб, яна газ оқимиغا келиб қўшилади.

Жараённинг умумий тезлиги энг суст босқич тезлиги билан аниқланади. SO<sub>2</sub> каталитик оксидлаш жараёнида бошқарувчи босқич бўлиб, молекулалар катализатор ғовакларига диффузияланади. Катализатор ғоваклари диффузияга қаршилик кўрсатади, яъни у катализатор структурасига (ўлчам ва ғовак ҳажми, сирти) боғлиқ бўлади.

Каталитик жараён тезлиги тезлик константаси  $g$  билан характерланади. Тезлик константаси  $g$  температура ва катализатор фаоллигига боғлиқ. Агар мувозанат константаси реакциясини ҳисоблаш мумкин бўлса, у ҳолда ушбу катализатор учун константа тезлиги фақат экспериментал йўл билан аниқланади. Ҳар бир катализатор маълум константа тезлиги билан характерланади. Катализатор синтез қилинадиган дастлабки компонентларга, уни тайёрлаш усулига, ўлчам ва зарраларнинг шаклига боғлиқ бўлади.

**SO<sub>2</sub> ни SO<sub>3</sub> гача оксидлаш тезлигига температуранинг таъсири.** Тезлик константасининг температурага боғлиқлиги Аррениус тенгламаси билан ифодаланади:

$$d \ln R/dT = E/(RT)^2$$

бу ерда:  $E$  – реакция активацияси энергияси; Ж/мол,  $R$  – газ доимийлиги;  $T$  – абсолют температура, К.

Тенгламадан кўриниб турибдики, константа тезлиги энергия активациясига боғлиқ бўлар экан. Ваннадийли катализатор учун тажриба йўли билан иккита энергия активация миқдори аниқланган. Битта қиймат  $U = 23000$  кал/г  $V^{+5}$  кўринишидаги ванадийга эга катализаторга, бошқаси- $V^{+4}$  шаклидаги ванадий бор катализаторга ( $E = 40000$  кал/г) тааллуқли. Энергия активациясини пасайтириш ва  $SO_2$  ни  $SO_3$  гача оксидланиш тезлигининг ортиши учун, масалан, ванадийли массасидан иборат катализатор ишлатилади.  $SO_2$  реакциясининг оксидланиши иккита константа – мувозанат константаси ва тезлик константаси билан характерланади, улар турлича температурага боғлиқ бўлади. Оксидланиш тезлигининг максимал миқдорига мос келадиган температура оптимал ҳисобланади. Дастлабки газнинг бир хил таркиби учун оптимал температурага реакция ўтиб бориши билан тинимсиз ўзгариб боради. Газ аралашмаси мувозанатдан узоқ бўлганда жараён юқори температурада олиб борилади.  $SO_2$  ни  $SO_3$  гача айлантириб боришда  $SO_2$  ни максимал оксидланишини таъминлаш учун контактланиш температураси пасайтирилади.

7 ҳажм %  $SO_2$  ва 11 ҳажм  $O_2$  га эга бўлган газнинг оксидланиш режимининг оптимал температураси қуйида кўрсатилган:

Оксидланиш даражаси $x$ , %	61	70	80	90	95	96	97	98	99
Қатламдаги температура, °С	600	572	537	492	455	445	436	418	389

#### 4.4.2. Оксидланиш катализаторлари

XIX асрнинг 30-йилларида сульфат кислотаси ишлаб чиқаришда платинали катализатор ўрнига ванадийли катализаторлар ишлатила бошланади. Ванадий катализаторлари 6–8 масса %  $V_2O_5$ ,  $K_2O$  ва  $SiO_2$  дан иборат ғовак моддадир. Бу катализаторнинг ички сирти  $10$  м<sup>2</sup>/г, диаметри 4–4,5 мм ва узунлиги 10–15 мм доналар шаклида ишлаб чиқарилмоқда.

Ҳозирги кунда Россияда ванадийли катализаторлар СВД (диатомитга жойлашган сульфованадат), СВС (силикагельга жойлашган сульфованадат), КИ-1 ва КИ-2 (катализ институти), ҚҚ (кайнама қатлам) ва бошқалар ишлаб чиқарилади. Бу катализаторлар бир-бирдан тайёрлаш усули, таркиби ва ташувчиси билан фарқланади. Масалан, СВД катализатори тахминан  $V_2O_5 \cdot 3 K_2O \cdot 6SO_3 \cdot 35SiO_2$  таркибга эга. Бу маркада ишлаб чиқарилаётган донали катализаторларнинг тўкма зичлиги 570 дан 700 г/л гача, механик мустаҳкамлиги 2–3 дан то 10 кг/см<sup>2</sup> гача дона узунлиги атрофида бўлади.

Катализаторларнинг асосий тавсифи бу фаоллик, термик барқарорлик ва механик мустаҳкамлик ҳисобланади. Контакт массасининг муҳим сифат кўрсаткичи ёндириш температураси ҳисобланади. Ёндириш температураси таъсирида катализатор тез кизий бошлайди ва SO<sub>2</sub> нинг оксидланиш жараёни ташқаридан иссиқ олмасдан автотермик суратда ўтади.

Катализаторлари ёндириш температураси катализатор табиати-га, реакция аралашмаси таркибига ва реакциянинг иссиқлик самардорлигига боғлиқ бўлади. СВС ва КИ катализаторлари паст ёндириш температурасига эга. СВС ва КИ ники 390–400°C, СВД ники эмас 420–430°C атрофида.

Катализаторларни контакт ускунасига юклаш ва бўшатишдаги йўқолиши унинг механик мустаҳкамлигига боғлиқ бўлади. Бундан ташқари, сув буғлари, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> туманлари таъсирида катализатор заррачаларининг бузилиши содир бўлади, газ окимига гидравлик қаршилиқ ортади ва натижада газни сўриб олишга электр энергиясининг сарфи ошади, тизим унумдорлиги эса камаяди.

**Ванадийли катализаторларнинг захарланиши.** Олтингугуртли хом ашёда мавжуд бўлган аралашмалар билан ванадийли катализатор қайтиб бўлмас даражада захарланади. Ювиш бўлимида олтингугурт (IV) оксидли газдан ажратиб олинмаган мишьяк контакт аппаратига келиб, контакт массасининг биринчи қаватида тўплана бошлайди ва температура 550–600°C га етганда V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> билан реакцияга киришиб, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> кўринишидаги учувчан бирикмани ҳосил қилади. Натижада катализаторларнинг биринчи қатламида ванадий камаё бошлайди. Кейинги қатламларда 500°C паст температурада



$V_2O_5 \cdot As_2O_5$  комплекси чўкиб, қобиқ ҳосил қилади, бу эса контакт ускунасида газ оқимига нисбатан қаршиликни оширади.

Катализаторлар учун кучли заҳар фтор таркибли бирикмалар  $HF$  ва  $SiF_4$  ҳисобланади.

Контакт массанинг устки қатламларида қобиқнинг ҳосил бўлишида газ ўтказувчи ускуналарнинг смирилиши туфайли ҳосил бўладиган темир сульфати ҳам сабабчи бўлади. Бу гидравлик қаршиликнинг ўсишига сабаб бўлади ва контакт ускунаси ва демак, жами тизимнинг нормал ишлашига салбий таъсир кўрасатади. Контакт массасининг хизмат муддати 3–5 йилга тенг. Биринчи қават бундан мустасно бўлиб, бу қават қоида бўйича ҳар йили алмаштириб турилади.

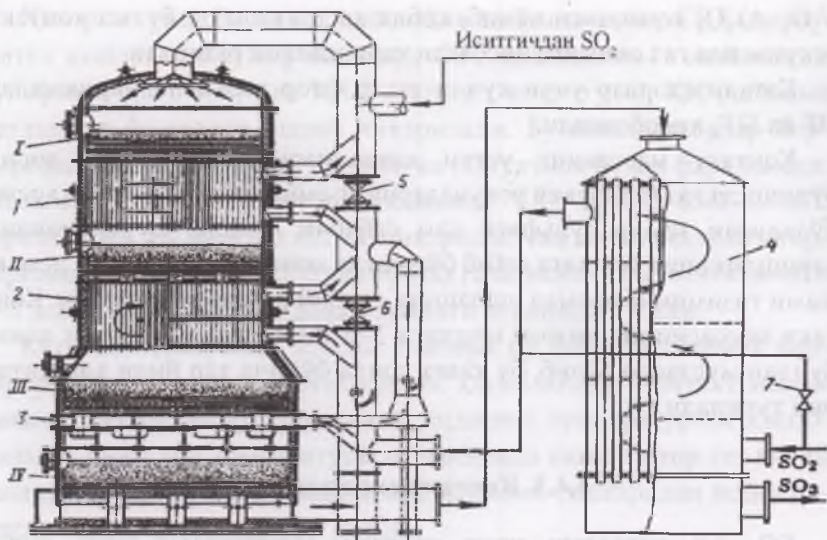
#### 4.4.3. Контакт аппаратлари

$SO_2$  ни оксидлаш учун контакт аппаратлари икки турга бўлинади: иссиқликни ичкаридан олиб кетадиган ва совуқ газни ёки ташқаридан совуқ ҳавони киритадиган аппаратлар. Биринчи турдаги аппаратларга Филд найли контакт аппаратлари киради. Бу аппаратларда  $SO_2$  ни оксидлаш реакциялари иссиқлиги олиб кетиш реакция кетиши билан бирга амалга оширилади. Бу турдаги аппаратлар паст унумдорлиги туфайли ҳозирги кунда сульфат кислота ишлаб чиқаришда қатламлар оралик иссиқлик алмаштиргичли ускуналарга алмаштирилган.

Замонавий контакт аппаратларида  $SO_2$  нинг оксидланиши ва реакция иссиқлигини олиб кетиш алоҳида-алоҳида амалга оширилади. Бу ҳолда газ қатлам массалари орасида жойлашган оралик иссиқлик алмаштиргичларида қатламлар ўртасида, ташқарида жойлашган қисмида, шунингдек, совуқ олтингугурт диоксиди контакт массасининг биринчи қатламидан сўнг пуфлаш йўли билан совитиш мумкин. Тизимга келаётган газ миқдорининг 20 ҳажм % ни совуқ газ ташкил қилади.

**Оралик иссиқ алмаштиргичли контакт аппарати 4.15-расмда** кўрсатилган контакт массасининг пастки қатламлари гидравлик қаршилигини камайтириш учун пастки қисми кенгайтирилган цилиндрлик корпусдан иборат (пастки қатламларда контакт массаси





4.15-расм. Тўрт қаватли контакт аппарати ва оралик иссиқ алмаштиргич билан контакт тугунининг схемаси:

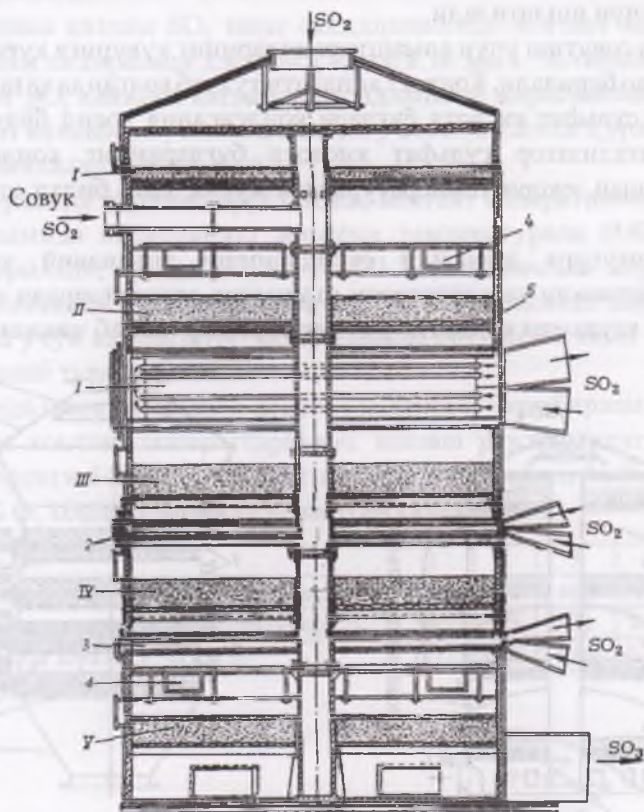
I–IV – контакт массаси қавати; 1–3 – оралик иссиқ алмаштиргич; 4 – сиртки иссиқлик алмаштиргич; 5–7 – газ задвижкалари (сурилма копкоқлар).

биринчи икки қаватга қараганда икки марта кўп). Биринчи (1) ва иккинчи (2) иссиқлик алмаштиргичларнинг жўваланган қувурли панжараси вертикал қувурлардан бажарилган. Катализаторнинг охири қатлами олдидан иккита горизонтал пластинкадан иборат пластинкали иссиқлик алмаштиргич (3) жойлашган. Улар орасида вертикал спирал тўсиқ бор.

Қувурли панжараларда жойлаштирилган II–IV с иссиқлик алмаштиргич панжаларида контакт масса жойлаштирилган. Бундай контакт аппаратлари контакт массаси қатламлар сонига ва аппаратнинг асосий қатга бўлмаган ўлчамларига боғлиқ, суткасига 60 тоннадан 240 тоннагача сульфат кислотаси ишлаб чиқариши унумдорлигига эга. Уларни ишлатиш жараёни ишончли, бироқ контакт аппаратларини тайёрлаш мураккаб. Бундан ташқари, иссиқлик алмаштиргичларни таъмирлаш контакт массасини бўшатиш билан боғлиқ.

Унумдорлиги 540 т/сут  $H_2SO_4$  бўлган контакт аппарати 4.16-расмда кўрсатилган. У 2, 3 ва 4 контакт массаси қатлаидан сўнг мон-

таж қилинган 1–3 оралик иссиқлик алмаштиргичларга эга. Контакт массасининг биринчи қатлаидан сўнг газни совутиш совук олтингургурт (IV) оксиди газини қўшиш билан амалга оширилади. Бундай контакт аппаратининг ички диаметри 8,5 м, умумий баландлиги 19,6 м. Аппаратнинг марказида чўян кувурлардан иборат йиғма таянч колонна бор. Унга колосникли панжаралар ўрнатилган, булар устига контакт массаси жойлашган. Бундай иссиқлик алмаштиргичларни таъмирлаш контакт массасини тўкишни талаб қилмайди.



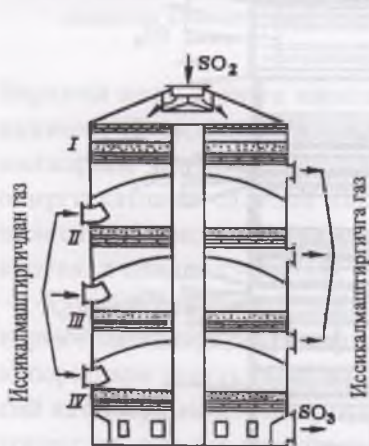
4.16-расм. Биринчи қатламлардан кейин совук газ қўшиладиган контакт аппарати: I–V – контакт массаси қатламли; 1–3 – оралик иссиқлик алмаштиргичлари; 4 – аралаштиргичлар; 5 – 15–20 мм баландликдаги кварц қатлами.

Унумдорлиги 1000 т/сут  $H_2SO_4$  ли контакт аппарати беш қатлам контакт массасига эга ва совук олтингугурт диоксиди контакт массасининг биринчи қатлампдан сўнг пуфланади. Бу эса иккинчи қатламга келаётган газ температурасини бошқаришга имкон беради. Иккинчи, учинчи ва тўртинчи қатлампдан сўнг ташқарига чиқарилган иссиқлик алмаштиргичлар ўрнатилган (4.17-расм).

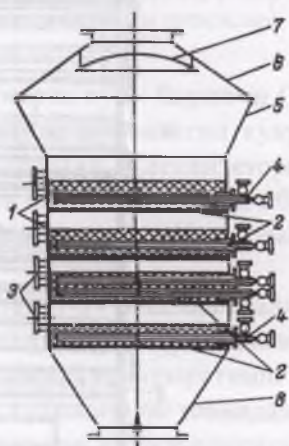
Катализаторлар қатламплари орасида жойлашган иссиқлик алмаштиргичли аппаратлар ҳўл катализ усули билан  $SO_2$  ни қайта ишлаш учун ишлатилади.

Газни совутиш учун алмаштиргичларнинг қувурига қуритилган совук ҳаво берилади. Контакт аппарати тўхтаб қолганда катализатор сиртида сульфат кислота бўғлари конденсация ҳосил бўлмаслиги учун катализатор сульфат кислота бўғларининг конденсация ҳароратидан юқори температурадаги қурук ҳаво билан шамоллатилади.

Олтингугурт диоксиди оксидланиши анъанавий усуллари бўлган қатламли катализаторли стационар аппаратлардан ташқари қайнама қатламли катализаторли аппаратлар ишлаб чиқилган.



4.17-расм. Қуввати 1000 т/сут бўлган иссиқлик алмаштиргичлари ташқарига чиқарилган контакт аппарати: I-V – контакт массаси қатламплари.



4.18-расм. Қайнама қатламли контакт массали контакт аппарати:  
1 – контакт массаси; 2 – газ тақсимлайдиган панжара; 3 – дарча (люклар); 4 – совутгич; 5, 8 – диффузорлар; 6 – конфузор; 7 – отбойник.



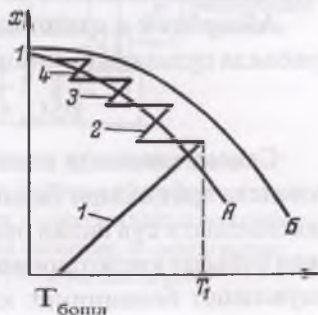
Контакт массали тўртта қайнама қатламли аппаратда кўрсатилган (4.18-расм). Ишлатиладиган ванадийли контакт массаси (1) ўлчамлари 0,75–1,00 мм заррачалар кўринишида тўртта панжара (2) жойлашади. Аппаратга киришда газ температураси 300–350°C ташкил этади. SO<sub>2</sub> ни оксидланишдаги ортикча реакция иссиқлиги катализатор қатламининг ичида жойлашган иссиқлик алмаштиргич (4) га ўтказилади. Битта масса қатламининг гидравлик қаршилиги 0,2 · 10<sup>5</sup> Па гача.

Қайнама қатлам SO<sub>2</sub> нинг оксидланишида контакт массанинг йўқотмаси сидирилиш ҳисобига йилига 10 масс. % ташкил этади. SO<sub>2</sub> нинг SO<sub>3</sub> қайнама қатламда оксидланиши жараёнининг тажриба саноат синовлари ўтказилган. Булар асосида саноат қурилмалари учун лойиҳалар бажарилган.

4.19-расмда кўриниб турганидек, контакт аппаратининг биринчи қатламида оксидланиш жараёни температурада (440–600°C) олиб борилади, бу эса SO<sub>3</sub> ни 60–70 % чиққанигача жараённинг юкори тезликда ўтишини таъминлайди. SO<sub>2</sub> айланиш даражасини ошириш учун катализатор қатламларида оптималга яқин температура ушлаб турилади.

Пастда икки тизимдаги контактлаштиришнинг бирламчи ва иккиламчи контакт аппаратларининг ишлаш режими келтирилган. Унумдорлиги 540 т/сут контакт аппаратига 7,5 ҳажм % SO<sub>2</sub> ва 10,5 ҳажм % O<sub>2</sub> концентрацияли келаётган газда:

Қатламлар	1	2	3	4	5
Қатламга киришдаги газ температураси, °C	440	496	467	440	416
Қатламга чиқишдаги газ температураси, °C	585	528	481	447	418
Оксидланиш даражаси, ҳажм %	0,71	0,70	0,93	0,97	0,98



4.19-расм. Катализатор қатламларида  $x$  нинг  $t$  температурага қараб ўзгариши даражасининг боғлиқлиги;  $t$  бошл =  $t$  ёниш (А оптимал температура чизиги, Б – SO<sub>3</sub> нинг мувозанат ҳолатида чиқиш чизиги).



Колчеданни куйдиришда олинган газда 8,5 % SO<sub>2</sub> концентрацияга эга бўлганда 1000 т/сут моногидрат бўйича унумдорликка эга икки марта контактлаштирилган контакт аппаратининг ишлаш режими:

	Бириччи босқич катлами			Иккинчи босқич катлами	
	1	2	3	4	5
Қатламга киришдаги температураси, °С	420	465	450	430	410
Қатламга чиқишдаги газ температураси, °С	603	575	465	446	414
SO <sub>2</sub> ни SO <sub>3</sub> гача оксидланиш даражаси, %	71,1	83,8	94,0	90,9	93,0

SO<sub>2</sub> ни SO<sub>3</sub> га умумий оксидланиш даражаси 99,6 %.

#### 4.4.4. SO<sub>3</sub> абсорбцияси

Олтингугурт уч оксиди (олтингугурт ангидриди) SO<sub>3</sub> 80,062 нисбий молекуляр массага эга. У рангсиз газ, бир лаҳзада сув буғлари билан ўзаро таъсирлашиб, сульфат кислота туманини ҳосил қилади. Температура 44°С етганда олтингугурт уч оксиди рангсиз суюқликка айланади; у қаттиқ ҳолатда уч хил модификацияда α-, β- ва γ- мос равишда 16,8; 31,5; ва 62,2°С температурада суюқланади. Бунда α – SO<sub>3</sub> модификацияси мономер; β ва γ-SO<sub>3</sub> модификацияси полимердан иборат бўлади. Олтингугурт ангидридининг α – шакли кучли оксидловчи, уларнинг полимерли шаклининг фаоллиги анча кам бўлади. Суюқ олтингугурт уч оксиди SO<sub>2</sub> билан турли нисбатда аралаша олади.

Газсимон SO<sub>3</sub> хлорид кислота билан реакцияга киришиб, хлор-сульфон кислотани SO<sub>2</sub>(OH)Cl ҳосил қилади.

**Абсорбция жараёнининг назарий асослари.** SO<sub>3</sub> абсорбция жараёнида сульфат кислотани олиш қуйидаги тенглама бўйича ўтади:



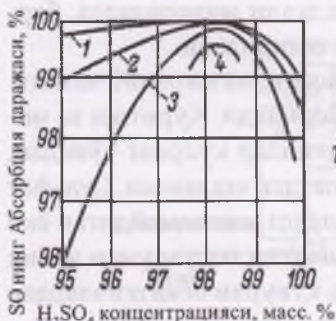
Саноат миқёсида олтингугурт ангидриди абсорбцияси сульфат кислота эритмалари билан амалга оширилади, бундан ташқари SO<sub>3</sub> кислотадаги сув билан реакцияга киришади. Маълум концентрацияли сульфат кислотани ишлатиб ва H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> юзасида SO<sub>3</sub> буғларининг мувозанат босимининг қиймати минимал даражада бўлганда аб-

сорбциянинг тўлалигига эришилади. Бу шароитга 98,3 %  $H_2SO_4$  мос келади. Бирок 98,3 %  $H_2SO_4$  концентрациясидан биров четга чиқилганда ҳам  $SO_3$  нинг ютилиш даражаси кескин камаяди.

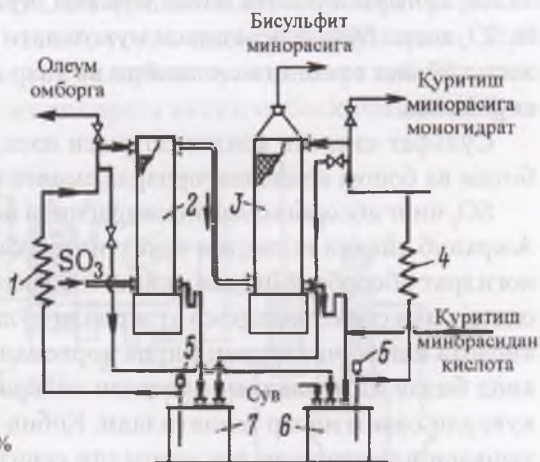
Абсорберни ювадиган кислота температураси паст бўлса,  $SO_3$  ютиш даражаси шунча юқори бўлади. Саноат микёсида бу температура  $\sim 60^\circ C$  га тенг.

4.20-расмдан кўриниб турибдики, бу ҳолда деярли 100 % ли  $SO_3$  абсорбцияга эришилади, амалда у 99,9–99,99 %-ни ташкил килади. Ювадиган сульфат кислота билан газ аралашмаси контакт аппаратадан сўнг учрашганда ундан фақат олтингугурт ангидриди ютилади. Ютилмаган газлар ва моногидрат абсорберидан чиқаётган сульфат кислота буғлари  $SO_2$  га ҳисоблаганда ПДК 0,03 ҳажм % тенг бўлганча барча қўшилмаларни ажратиб олиш учун чиқинди газларни тозалаш бўлимига келади.

Сульфат кислота ишлаб чиқаришда контакт абсорбцион бўлими иккита абсорбердан тузилган, бир-бири билан кетма-кет бириктирилган олеум ва моногидрат минораларидан иборат (4.21-расм).



4.20-расм. Турли температурада моногидрат абсорберидан  $SO_3$  нинг абсорбцияланиш даражаси: 1 –  $60^\circ C$  да; 2 –  $80^\circ C$  да; 3 –  $100^\circ C$  да; 4 –  $120^\circ C$  да.



4.21-расм. Абсорбцион бўлимининг схемаси: 1 – олеум совутгичи; 2 – олеум абсорбери; 3 – моногидрат абсорбери; 4 – моногидрат совутгичи; 5 – чўктириладиган насослар; 6 – моногидрат йиғгичи; 7 – олеум йиғгичи.

Контакт бўлимидан чиқаётган газ ангидрид совитгичи орқали олеумли абсорберга, сўнгра моногидратлига кирази.

Биринчи абсорбер 20 % ли олеум, иккинчиси 98,3 % ли сульфат кислота билан ювилади.  $\text{SO}_3$  абсорбцияси жараёнида олеум концентрацияси ортади ва аппаратдан чиқишда 21–22 % ташкил этади,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрацияси эса моногидрат абсорберига киришда 98,3 %, чиқишда эса 98,7 % гача кўпаяди. Ишлаб чиқаришда 98,3 % ли сульфат кислотани «моногидрат», абсорберни эса «моногидратли» деб аталади.

Биринчи абсорбердан чиқаётган 21–22 % олеум тўплагичига келади, бу ерга биринчи абсорберни ювишга сарфланадиган олеум концентрациясини доимий ишлаб туриш учун моногидрат тўплагичидан маълум миқдордаги кислота доимий равишда кўшилади. Шунингдек, қуритиш минораси тўплагичидан 93–94 % ли кислота тўплагичга бериш йўли билан моногидрат абсорбер кислота концентрацияси бир хилда ушлаб турилади.  $\text{SO}_3$  ва сув буғларига эга бўлган газлар 400°C температурадан юкорида совитилса, сульфат кислота олиш мумкин, чунки температура пасайса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ҳосил бўлиш реакцияси мувозанати сульфат кислота буғлари ҳосил бўлиш томонига силжийди ва улар янада совитилса, конденсирланади.

Сульфат кислота конденсацияси насадкали минораларда, барботаж ва бошқа конденсаторларда амалга оширилади.

$\text{SO}_3$  нинг абсорбцияланиш жараёнида иссиқлик ажралиб чиқади. Ажралиб чиққан иссиқлик совитгичга юборилади. Қуритиш ва моногидрат абсорберларидан кейинги совитгичлар қулранг чўяндан, олеум учун совитгичлар эса углеродли пўлатдан ишланган. Сульфат кислота ишлаб чиқарувчи йирик корхоналарда зангламайдиган ёки анод билан химояланган пўлатдан тайёрланган олеум учун қобик қувурли совитгичлар ишлатилади. Қобик қувурли совитгичлардан ташқари пластинкали ёки спиралли совитгичлар ишлатилади. Совитувчи агент сифатида бир қатор ҳолларда сув ўрнига ҳаводан ҳам фойдаланилади.

**Абсорбцион бўлимда асосий аппаратлар**  $\text{SO}_3$  ютиш учун насадка туридаги абсорберлар ва кислоталарни совитиш учун циркуляция қиладиган совитгичлардан иборат.





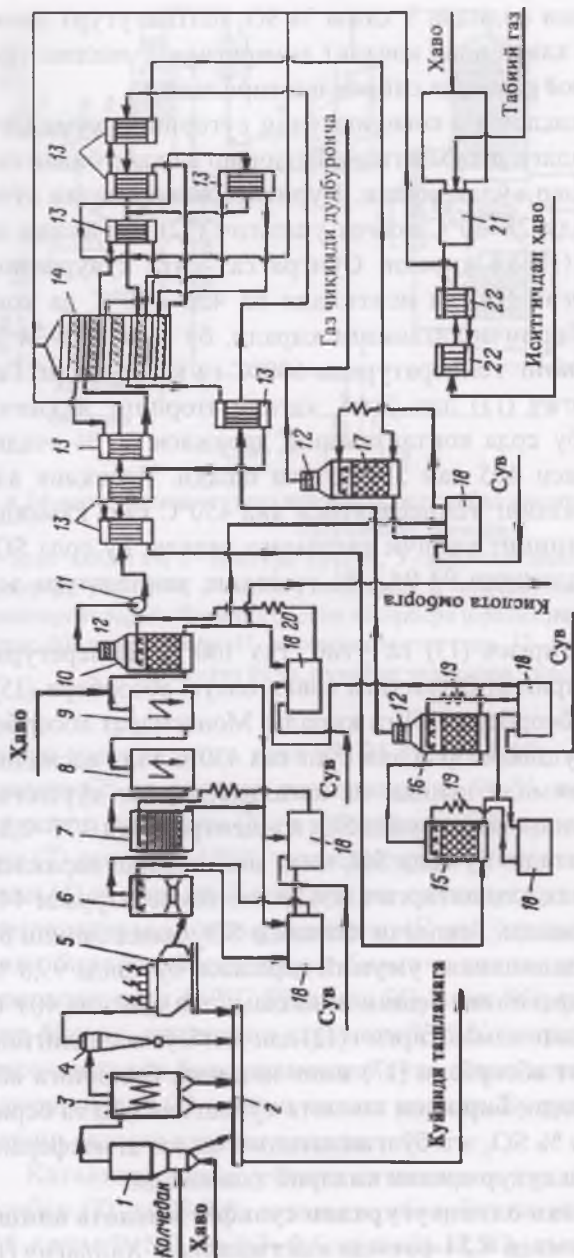


чи қатламида катализатор ёниш температурасигача киздирилади ва контакт массасининг икки қатламидан ўтади. Бу ҳолда контактлашиш даражасининг йиғиндиси 99,7–99,8 % ни ташкил қилади. Контактлашишнинг иккинчи босқичидан сўнг газ абсорбцияга киради, бундан сўнг атмосферага чиқадиган газларда  $\text{SO}_2$  микдори 0,03–0,04 хажм % ташкил қилади, бу эса ПДК талабига мос келади.

**КИ-АИ усулида сульфат кислотани олишнинг технологик схемаси** 4.23-расмда келтирилган. Колчедан улушлагич орқали ҚҚ печи (1) га киради. Олинган 13 %  $\text{SO}_2$  эга бўлган олтингургурт тўрт оксиди (олтингургурт диоксиди) гази 700°C температурада қозон-утилизатор (3) га юборилади, бу ерда у 420°C температурагача совитилади. Бу ҳолда босими 4 МПа гача ва 450°C температурадаги энергетик буғ олинади, шунингдек, бу ерда темир куйиндисидан қисман тозаланиш ҳам содир бўлади. Газнинг кейинги тозаланиши циклон (4) ва УГП-3-30 маркали курук электр фильтр (5) да амалга ошади. Газни мишьяк, селен ва бошқа аралашмалардан тозалаш (6) ва (7) иккита ювувчи минора бўлимида, икки жуфт ҳўл электр филтёрда (8) ва (9) ҳамда қуритиш минораси (10) да амалга оширилади.

Биринчи ичи бўш ювувчи минора (6) буғлантириш режимида ишлайди; циркуллашувчи кислота газни совитади, бу ҳолда иссиқлик ювишга келаётган кислота суви буғлантиришга сарфланади. Биринчи минорадаги ювувчи кислота концентрацияси 35–45 масс. %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  тенглиги иккинчи ювувчи минорадан 5–10 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  бериш ҳисобига бу даражада ушлаб турилади. Иккинчи минора (7) дан кислота тўплагич (18) га келади ва совигандан сўнг ювилишга қайтарилади.

Газ иккинчи ювувчи минорадан сўнг кетма-кет икки жуфт электр фильтр (8) ва (9) дан, сўнгра 28–30°C да 93–94 % ли  $\text{H}_2\text{SO}_4$  билан ювиладиган қуритиш минораси (10) дан ўтади. Газдан сув буғларини ютиш ҳисобига ювувчи кислота суюлади ва қизийди, шунинг учун температурани пасайтириш учун у хаво совитгичида (20) совитилади. Кислота концентрациясини ушлаб туриш учун унга моногидратли минорадан кислота қўшилади ва янгидан ювишга узатилади.



4.23-раси. Колчедан сульфат кислотаси ишлаб чиқарадиган схема:

1 – печ; 2 – куйиндиларни сув билан чиқариб ташлаш схемаси; 3 – котел-утилизатор; 4 – бир жойдан иккинчи жойга соладиган тузилмалар циклон; 5 – курук электрфильтр; 6 – биринчи ювувчи минора; 7 – иккинчи ювувчи минора; 8 – биринчи хўл электрфильтр; 9 – иккинчи хўл электрфильтр; 10 – куришти минораси; 11 – газпуфлагич; 12 – томчи ушлагич; 13 – контакт тутунинг иссиқлик алмаштиргичи; 14 – контакт аппарати; 15 – олсум абсорбери; 16 – биринчи моногидрат абсорбери; 17 – иккинчи моногидрат абсорбери; 18 – кислота йиғгич; 19 – совутгич; 20 – кислотани хаво билан совутиш совутгичи; 21 – ишга туширувчи иссиқгич.

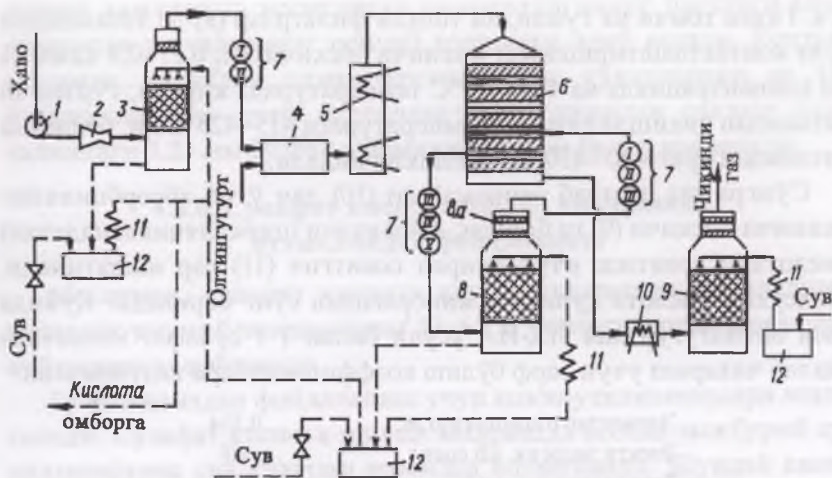
Қуритиш минораси олдидан 9 ҳажм %  $\text{SO}_2$  (олтингугурт диоксидини) микдоргача ҳаво билан контакт аппаратининг ишлаш технологик режимига мос равишда сийраклаштирилади.

Қуритиладиган кислотани совитиш учун суғориш русумидаги қувур ёки қувур ичидаги русумдаги совитгичлар ва ҳаво билан со-витадиган совитгичлар қўлланилади. Қуритиш минорасидан сўнг олтингугурт диоксиди 28–30°C томчи ушлагич (12) дан ўтади ва турбогаз пуфлагич (11) га киради. Сўнгра газ учта қувурсимон иссиқлик алмаштиргич (13) да иситилади ва 420–440°C да контакт аппаратининг биринчи қатламига киради, бу ерда 73,8–74 % гача оксидланади; унинг температураси 600°C га кўтарилади. Газ иссиқлик алмаштиргич (13) дан ўтиб, катализаторнинг иккинчи қатламига киради, бу ерда контактлашиш даражаси 86 % етади, газнинг температураси 465 дан 514°C гача ошади. Иссиқлик алмаштиргич (13) да газнинг температураси яна 450°C гача камаяди ва у контакт аппаратининг учинчи қатламига келади. Бу ерда  $\text{SO}_2$  нинг  $\text{SO}_3$  гача оксидланиши 94–94,5 % га етади, температура эса 469–470°C гача ошади.

Иссиқлик алмаштиргич (13) га ўтиб, газ 100°C температурада абсорбциянинг биринчи босқичига аввал олеум абсорбери (15), сўнгра моногидрат абсорбери (16) га киради. Моногидрат абсорбери ва филтр томчи ушлагич (12) дан сўнг газ 430°C гача иссиқлик алмаштиргичлар тизимида исийди ва катализаторнинг тўртинчи қатламига киради, бунинг устига унда  $\text{SO}_2$  концентрацияси 0,77–0,84 ҳажм % ни ташкил этади. Бу ерда  $\text{SO}_2$  нинг оксидланиш даражаси 80 % га тенг. Иссиқлик алмаштиргич (13) да газ температураси 449 дан то 409°C гача камаяди. Бешинчи қатламда  $\text{SO}_2$  оксидланиши 87 % га етади. Контактлашишнинг умумий даражаси бу ҳолда 99,8 % га тенг. Контакт аппаратининг бешинчи қатламидан сўнг газ 409°C температурада иссиқлик алмаштиргич (13) дан ўтиб, ўз иссиқлигини беради ва моногидрат абсорбери (17) нинг иккинчи босқичига абсорбцияланишга киради. Бир қисм кислота тўплагичи (18) га берилади. 0,02–0,03 ҳажм %  $\text{SO}_3$  эга бўлган ютилмаган газ атмосферага чиқинди чиқарадиган қувур орқали чиқариб ташланади.

**ИК-ИА усули билан олтингугуртдан сульфат кислота олишнинг технологик схемаси 4.24-расмда келтирилган. Ҳайдагич (1)**





4.24-расм. Олтингургуртда ишлайдиган сульфат кислота тизимидаги контакт тугунининг схемаси:

1—хаво ҳайдагич; 2—Вентури кувури; 3—куритиш минораси; 4—олтингургуртчи ёндириш учун печ; 5—қозон-утилизатор; 6—контакт аппарати; 7—иссиқлик алмаштиргичлар; 8—биринчи босқич абсорбери (оралиқ); 9—иккинчи босқич абсорбери; 10—экономайзер; 11—илонизи совутгичлар; 12—кислота йиғгичлари (яхши чизик—газ йўли; пунктир чизиклари—кислота йўли).

билан узатиладиган ҳаво 92–94 % ли  $H_2SO_4$  ювиладиган Вентури кувури (2) да чангдан тозаланади ва 94 % ли  $H_2SO_4$  ювиладиган куритиш минораси (3) га юборилади. Сўнгра иссиқлик алмаштиргич (7) дан ўтиб, 120°C температурада суюқ олтингургуртнинг ёниш печи (4) га киради. Ҳосил бўлган олтингургурт диоксид гази 1000°C температурада қозон-утилизатор (5) дан ўтади ва контакт аппаратининг биринчи босқичининг биринчи қатламига ўтади. Бу ерда газ температураси 440°C бўлганда  $SO_2$  нинг  $SO_3$  гача оксидланиши содир бўлади, конвенция даражаси 93,5 % ни ташкил этади. Контакт массанинг ҳар бир қатлаидан сўнг газни совитиш учун иссиқлик алмаштиргич (7) тизими хизмат қилади. Бу тизимда газлар қарама-қарши оқимда ҳаракат қилади.

Катализаторнинг учинчи қатлаидан чиқаётган  $SO_3$  орқали абсорбер (8) да 99,9 % ютилади, абсорбцион зонадан чиқаётган газ 0,8 ҳажм %  $SO_2$  ва 0,3–0,5 ҳажм %  $H_2SO_4$  тумани ва томчиларига



эга. Газни томчи ва тумандан толали фильтрлар (8) да тозалашдан сўнг контактлаштиришнинг иккинчи босқичи  $SO_2$ , 0,77–0,8 хажм % ли концентрацияда ва 405–410°C температурада киради; тўртинчи қатламдан чиқишда газнинг температураси 415–425°C ни, бешинчи қатламдан сўнг 420–430°C ни ташкил қилади.

Сўнгра газ дастлаб экономайзер (10) дан ўтиб абсорбциянинг иккинчи босқичи (9) га боради. Айланувчи (циркуляцияланадиган) кислотани совитиш учун спирал совитгич (11) лар ишлатилади. Махсулий кислота қуритиш минорасидан сўнг берилади. Қуйида тоза олтингугуртдан ИҚ-ИА усули билан 1 т сульфат кислотаси ишлаб чиқариш учун сарф бўлиш коэффицентлари келтирилган:

Элементар олтингугурт, т	0,334
Электр энергия, кВ соат	40
Технологик сув, м <sup>3</sup>	0,36
Айланадигаан совитувчи сув, м <sup>3</sup>	52
Контакт массаси, кг	0,1

**ИҚ-ИА тизимининг афзаллиги ва камчилиги.** ИҚ-ИА тизи-мида  $SO_2$  оксидланиши даражаси бир марта контактлашган тизими-даги 97,5–98,0 % га солиштирганда 99,5–99,7 % га етади.

Газ оралиқ моногидрат абсорберидан чиқаётганда анча миқдорда туман ва томчиларга эга бўлади. Туман ва томчиларни ушлаш учун ишлатиладиган толасимон фильтрлар уларнинг ютилишини тўла таъминлай олмайди, бу эса туманни иссиқлик алмаштиргич қувурларнинг деворлари сиртига ўтириб қолишига ва уларнинг тез емирилишига олиб келади. Иссиқлик алмаштиргичларда зичлик-нинг бузилиши ўз навбатида  $SO_2$  ни  $SO_3$  га оксидланиш даражасини пасайтиришга олиб келади, бу эса ИҚ-ИА тизимининг аосий кам-чилиги ҳисобланади.

Бундан ташқари, газни қўшимча совитиш ва қиздириш зарурли-ги туфайли ҳамда иссиқлик йўқотилишини бартароф қилиш учун юқори самарали иссиқлик алмаштириш аппарати керак бўлади.

Аппарат габаритларининг йириклиги, таянчлар бикирлиги, ёп-қичлар, алмаштиргичлар сонининг ортганлиги ва тоқча типидagi контакт аппаратларда газ оқимлари тақсимлагичларнинг катта-лашиши, металлнинг кўп ишлатилганлиги тизимнинг иккинчи камчилиги ҳисобланади. Пулатларнинг емирилишга чидамлили-

гининг камлиги ва иссиқликка чидамлилигининг пастлиги катализаторли токчаларнинг осилиб қолишига олиб келади. Контакт аппарати, иссиқлик алмаштиргичларнинг қувурларини ва газ ўтказгичларнинг ички сиртининг емирилишидан сақлаш учун қалинлиги 0,25 мм бўлган алюминий қатлам билан қопланади.

#### **4.4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда иссиқликдан фойдаланиш**

Маълумки, сульфат кислота ишлаб чиқаришда ажраладиган иссиқлик умумий миқдорининг 52–65 % олтингугуртли хом ашёни куйдиришга сарфланади.

Бу иссиқликдан фойдаланиш учун қозон-утилизаторлари ишлатилади. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда асосан мажбурий сув айлантирувчи сув қувурли қозонлар ишлатилади. Шундай қилиб ҚҚ печларида ёниш реакцияси иссиқликдан фойдаланиш ҳисобига 1 т ёнган  $\text{FeS}_2$  дан 1,5 т гача буғ олинади.

Қолчеданни куйдиришдан олинadиган  $\text{SO}_2$  оксидланишида ажраладиган иссиқлик контакт аппаратининг биринчи қатламига совуқ газни иситиш учун ишлатилади.

Насадкали минораларда  $\text{SO}_3$  абсорбцияси жараёнида катта миқдордаги ажраладиган иссиқлик ювиладиган кислота билан олиб кетилади, сўнгра у совитгичларда совитилади.  $\text{SO}_3$  абсорбцияси жараёнининг адиабатик характери насадкали минорада жараён кечишида иссиқликни четга олиб кетиши мумкин эмаслиги туфайли оқиб чиқаётган олеум ва кислота температурасини 60–70°C даражада ушлаб туриш учун ювишга берилаётган кислота миқдорини ўзгартириш билан амалга оширилиб, иссиқлик баланси билан аниқланади.

Барботаж типдаги абсорберларни ишлатиш абсорбция жараёни иссиқлигини кислота қатламида жойлашган совитгичларда ишлатиш мумкин.

#### **4.4.7. Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнини автоматлаштириш**

Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнида жуда кўп аппаратлар ишлатилади. Ишлатилаётган аппаратлар фаол коррозияга учра-

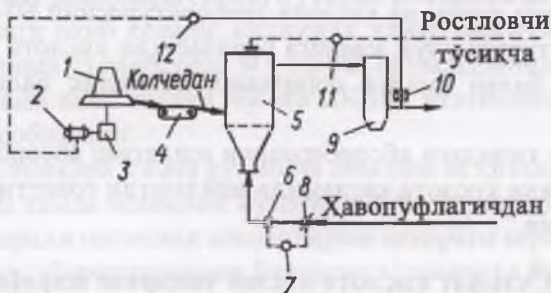
ши билан ажралиб туради. Бу эса ўз навбатида технологик тизимнинг айрим қисмларини, аппаратларини ва бутун тизимни тўхтатиб қўйишга олиб келади.

Бутун тизимни, айниқса йирик қувватли агрегатларнинг бир меъёрда ишлашини таъминлаш учун назорат-ўлчов ва қайд қилиб кўрсатувчи ўлчов асбоблари ёрдамида марказий пультадан бошқарилади. Кўрсатувчи асбоблар аппаратларга ўрнатилган бўлади. Температура, маҳсулот сарфи ва босимни бошқариш учун автоматик бошқаруви ёки автоматик ростловчи тизимлар қўлланилади.

Печ бўлимидан чиқаётган газдаги  $SO_2$  концентрацияси ўзгармаслигини автоматик ростлаб, шунингдек, температуранинг барқарорлигини таъминлаб туриш керак бўлади.

Ишлаб чиқаришнинг бошидан охиригача меъёрда ишлаши контакт аппаратининг ишлашини ташкил қилишга боғлиқ. Контактлаштириш жараёнида жиддий бузилиш бутунлай цех ишини тўхтатиб қўяди. Мисол сифатида 4.25-расмда ҚҚ печининг автоматик схемаси кўрсатилган.

Ростловчи тўсма копоқ (8) ва диафрагма (6) орқали ҳаво ҚҚ печининг пастки қисмига келади. Диафрагма (6) дан келган импульс тўсма копоқ (8) қа таъсир қилади. Унинг очилиш даражаси кираётган ҳаво миқдорига боғлиқ бўлади. Куйдириш газидagi  $SO_2$  нинг концентрациясини тарелкасимон таъминлагич (1) нинг айланиш тезлигини ўзгартириш йўли билан ростлайдилар. Ушбу таъминлагич ёрдамида колчеданни печга узатадилар. Козон-утилизатор (9)



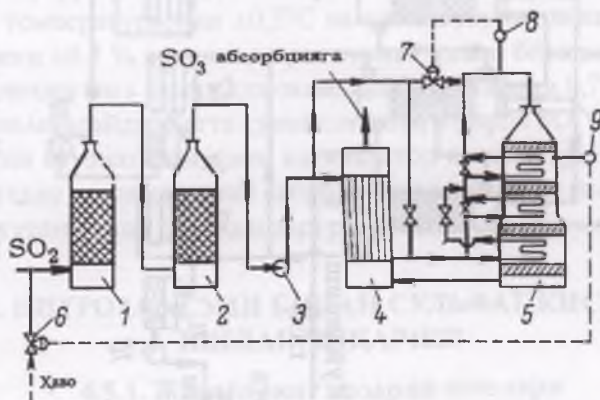
4.25-расм. Колчеданни куйдириш учун қабул қилиш печини ростловчи автоматик схема: 1—тарелкачасимон таъминлагич; 2—таъминлагич юритмаси; 3—редуктор; 4—оралиқ транспортери; 5—печ; 6—диафрагма; 7, 11, 12—ростлагичлар; 8—ростловчи тўсма копоқ; 9—козон утилизатор; 10—газанализатор ( $SO_2$  учун).



дан кейин ўрнатилган газанализатор (10) дан импульс ростловчи (12) орқали тарелкасимон таъминлагич айланиши тезлигига таъсир кўрсатади. Ростловчи (11) ёрдамида зарур сийраклаштириш ушлаб турилади: ростлагич (11) газўтказгичга тўсма қопқоқ билан бириктирилган.  $SO_2$  концентрацияси печдан чиқаётганда  $\pm 0,5$  хажм % даги аниқликда ушлаб турилади.

Колчеданда ишлайдиган ҚҚ печларида печ бўлимининг автомат тизими  $SO_2$  нинг газдаги концентрациясини барқарор ушлаб туриш билан боғлиқ. Газда  $SO_2$  нинг бундай концентрацияси газанализатордан берилган сигнал бўйича ростлагич орқали печга бериладиган ҳавонинг миқдорини ўзгартириш билан амалга оширилади. Бу усул газанализатор импульси таъсиридан колчедан печнинг таъминланишини айланиш тезлигининг ўзгаришига нисбатан тез ишловчанлиги билан фарқланади.

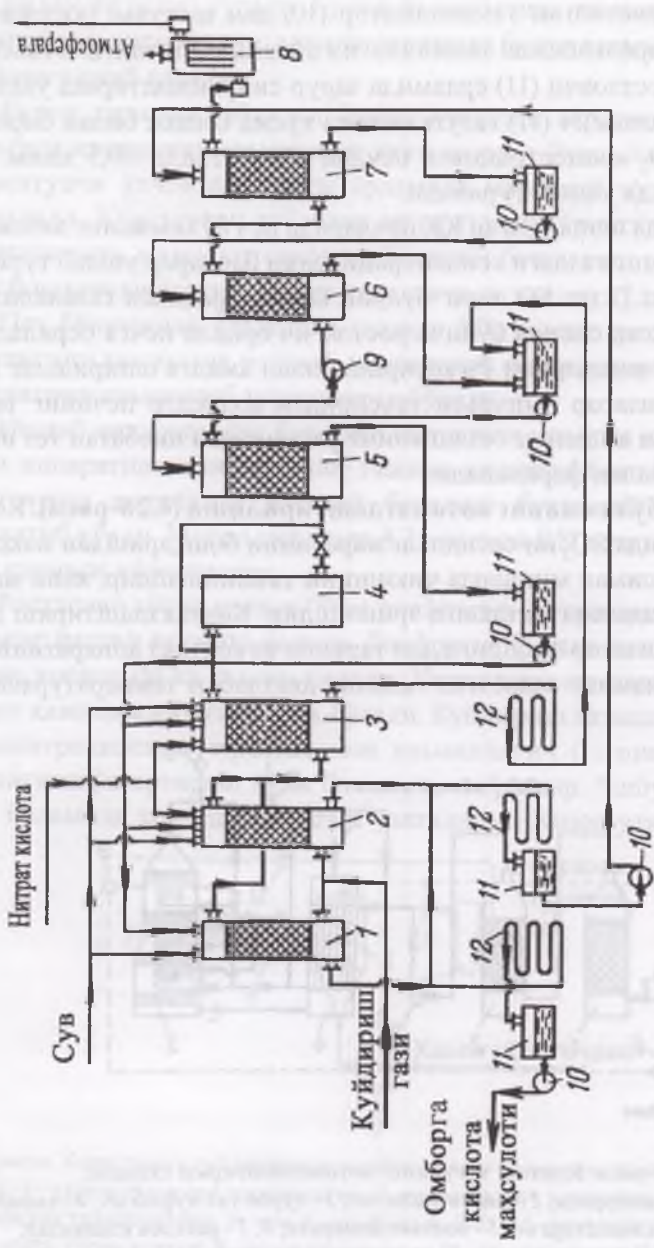
**Контакт бўлимининг автоматлаштирилиши (4.26-расм).** Контакт аппаратида  $SO_2$  ни оксидлаш жараёнини бошқаришдан мақсад  $SO_3$  нинг максимал миқдорда чиқишини таъминлашдир, яъни максимал даражада контактлашга эришишдир. Контактлаштириш даражаси катализатор фаоллиги, газ таркиби ва контакт аппаратининг биринчи қатламига келаётган газнинг дастлабки температурасига



4.26-расм. Контакт тугуннинг автоматлаштириш схемаси:

- 1- куриштиш минораси; 2- томчи ушлагич; 3- турбо газ пуфлагич; 4- ташқи иссиқлик алмаштиригич; 5- контакт аппарати; 6, 7- растлов клапанлар; 8-9- термопарали температура ростлагичлар.





4.27-расм. Нитроза усулида сульфат кислота ишлаб чиқариш схемаси:  
 1-денитратор; 2-биринчи махсулот минорасы; 3-иккинчи махсулот минорасы; 4-оксидловчи минора; 5-7-абсорбцион минора; 8-электрфильтр; 9-дум вентилятор; 10-насослар; 11-йигич.

боғлик. Киришда  $SO_2$  концентрациясининг барқарорлиги биринчи навбатда қуритиш минораси олдидан ҳавони сўриб олиш ҳисобига таъминланади. Печ газида  $SO_2$  миқдорини ўлчайдиган газанализатордан импульс ростлагичга юборилади, у қуритиш минораси олдидан ростловчи клапан (6) билан бошқарилади. Бир пайтнинг ўзида газ концентрацияси ушлаб туриши билан унинг температураси аппаратга киришда ростлаб турилади, бу эса контакт массасининг ёниш температураси билан аниқланади.

Олтингугурт диоксид гази (4.27-расмга қаранг) қуритиш минораси (1) ва сачраган томчиларни ушлагич (2) дан қувур газ пуфлагич (3) билан иссиқлик алмаштиргич (4) га, катализатор ёниши температурасигача қизийдиган учинчи, иккинчи ва биринчидаги қатламларга ва сўнгра контакт аппаратининг биринчи қатламига юборилади. Бир пайтнинг ўзида  $SO_2$  нинг  $SO_3$  гача оксидланиши ҳисобига қизиган газнинг совуши бошланади.

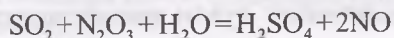
Аппаратга киришда газнинг температурасини бир хилда ташки иссиқлик алмаштиргич (4) дан ташқари биринчи қатлам контакт массасидан сўнг совуқ газни юборишни ростлаш клапани (7) ёрдамида бир хилда ушлаб турилади. Ростловчи клапанлар (6) ва (7) билан боғланган датчик вазифасини термопара (9) бажаради.

Олтингугурт диоксидини оксидлаш жараёнини автоматлаштириш газ температурасини  $\pm 0,5^\circ C$  ва олтингугурт диоксид концентрациясини  $\pm 0,3\%$  аниқликда ростлашга имкон беради, бу эса қўл билан бошқарганга қараганда оксидлаш даражасини  $0,75\%$  га оширишни таъминлайди. Катта қувватли аппаратларда  $SO_2$  ни оксидлаш жараёнини автоматлаштириш катализатор қатламлари бўйича газнинг нотекис тақсимланиши сабабли ўзгарувчан қатламлар бўйича температурани аниқ ростлаш зарурати билан боғланган.

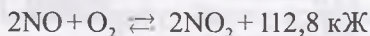
## **4.5. НИТРОЗА УСУЛИ БИЛАН СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ**

### **4.5.1. Жараённинг назарий асослари**

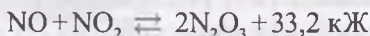
Насадкали минораларда  $SO_2$  ни нитроза билан оксидлашда сульфат кислота олинади. Бу куйидагича ифодаланади:



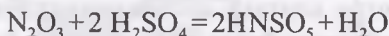
Бу жараён суюқ фазада ўтади ва қайтмас жараён ҳисобланади. Сульфат кислотанинг ҳосил бўлиши билан бирга азот оксиди ажралиб чиқади, у сульфат кислотада эримайди, шунинг учун у газ фазасига ажралиб чиқади ва шу заҳотиёқ газда мавжуд кислород билан реакцияга киришади:



Азот оксидлари NO ва NO<sub>2</sub> бир-бири билан реакцияга киришиб, эквимолекуляр аралашма ҳосил қилади:



Бу бирикма сульфат кислота билан ютилиб, нитрозил сульфат кислота ҳосил қилади:



SO<sub>2</sub> нинг нитроза билан бирикиш жараёни гетерогенли бўлганлиги учун унинг тезлиги газ ва суюқ фазани ажратиш сиртига боғлиқ.

Сульфат кислота олиш реакцияси тенггласига мос равишда бир ҳажм SO<sub>2</sub> газ фазасига 2 ҳажм NO ажратиб чиқаради. Амалда биринчи минорадан кейин газда 1–1,5 ҳажмга яқин NO бўлади. Бу фақат кимёвий таҳлиллар билан эмас, балки 1 т H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> олиш учун зарур бўлган азот оксидлари миқдори – азот айланиши ҳисоби ёрдамида ҳам тасдиқланади:

$$\frac{1000 \text{ N}_2\text{O}_3}{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1000 \cdot \frac{76}{98} = 775 \text{ кг N}_2\text{O}_3,$$

ёки 1290 кг HNO<sub>3</sub>

Амалиётда минора тизимларида HNO<sub>3</sub> нинг зарур миқдори 500 кг га яқинни ташкил этади. Бу назарий миқдорнинг тахминан 40 % га тўғри келади. Демак, азот оксидлари SO<sub>2</sub> ни сульфат кислотага қайта ишлаш жараёнида биринчи марта қатнашади, бу эса NO нинг NO<sub>2</sub> гача оксидланиши фақатгина газ фазасида эмас, балки суюқ фазадалиги билан ҳам тушунтирилади. Бунинг тасдиғи шундаки, биринчи минорада NO NO<sub>2</sub> гача оксидланади, бу эса ҳисоблаш бўйича NO ни NO<sub>2</sub> гача газ фазасида оксидлашдан кўпроқ бўлади.

Нитросульфат кислота сувсиз сульфат кислотада барқарор бўлиб, сульфат кислотанинг сувли эритмаларида эса гидролизла-

нади. Гидролиз даражаси температуранинг ортиши ва сульфат кислота концентрациясининг пасайиши билан кўпаяди. Хона температурасида  $\text{NO}_2$  концентрациясидан гидролизланиш даражасининг боғлиқлиги келтирилган:

$\text{H}_2\text{SO}_4$ микдори, масс.%	98,0	80,0	70,0	57,0
$\text{H}_2\text{SO}_4$ гидролизланиши даражаси, %	1,1	27,7	49,8	100

Температуранинг ортиши билан нитрозанинг  $\text{SO}_2$  га нисбатан реакцияга киришиш хусусияти ва нитросульфат кислотанинг ўта чуқур гидролизланиш ортади. Амалиётда бу мақсадлар учун нитрозага сув қўшилади.

#### 4.5.2. Технологик схема

Нитроза усули билан сульфат кислотасини олиш жараёни куйидаги асосий босқичлардан ташкил топган:

1. Олтингугурт тўрт оксидини олиш;
2.  $\text{SO}_2$  ни нитроза билан оксидаб, сульфат кислотани олиш ва улардан азот оксидларини бирга ажратиш (денитрация);
3. Азот оксидларини абсорбцияга тайёрлаш ( $\text{N}_2\text{O}_3$  олиш);
4. Азот оксидларининг абсорбцияси билан бирга нитрозани олиш;
5. Чикинди газларни санитар тозалаш.

Реакцияга киришувчи фазалар сиртини катталаштиришга эришиш учун жараён насадкали минораларда олиб борилади.

4.27-расмда минорали сульфат кислотани олиш технологик схемаси кўрсатилган.

Колчеданни ёндириш билан олинган куйдириш гази печ бўлимидан кейин электр филтларда темир куйиндиси чангидан тозаланади ва икки параллел турган минораларга киради, улардан биттаси денитрацион, иккинчиси маҳсулий минора ҳисобланади. Денитратор (1) га газнинг умумий ҳажмидан 25 % яқини киради. Бу миноралардан чиқишда газ бор оқимга бирлашади ва иккинчи маҳсулий минора (3) га келади. Маҳсулий минорани ювувчи сульфат кислотада азот оксидлари микдори 60–70°C температурада 15 ҳажм %  $\text{N}_2\text{O}_3$  га яқинни ташкил қилади.



Маҳсулий минорадан сўнг газ оксидловчи минора (4) га келади, бу ерда NO оксидининг  $N_2O_3$  гача оксидланиши билан бирга максимал даражага абсорбция учун зарур бўлган эквимолекуляр аралашмани ҳосил қилади ва атмосферага чиқариб ташланадиган азот оксидларининг минимумини таъминлайди. Кўпи билан 0,5 ҳажм %  $SO_2$  ва 10 ҳажм % гача азот оксидига эга бўлган абсорбция учун тайёрланган газ абсорбция минораларидан (5, 7) ва (8) электр филтрдан кетма-кет ўтади. Охири абсорбциявий минора биринчи маҳсулий минорадан 40–45°C температурада кўпи билан 0,5 ҳажм %  $N_2O_3$  эга бўлган нитроза билан ювилади. Денитрацион минорадан чиқаётган маҳсулот 75 масс %  $H_2SO_4$  ва 0,03 ҳажм %  $N_2O_3$  га эга бўлади. Ҳамма тизим сийраклашишда ишлайди; охириги иккита абсорбцион миноралар бундан мустасно, булар олдида вентилятор (6) туради. Юувчи кислоталар совитгич (9) ларда совитилади. Учинчи абсорбердан кейин 0,1–0,15 ҳажм %  $N_2O_3$  га эга бўлган чиқинди чиқиш қувурларидан атмосферага чиқиб кетади. Минораларни ювиш учун кислотани узатиш ёпиқ хонада жойлашган марказдан қочирма насослар ёрдамида амалга оширилади. Минора ва совитгичлар очиқ ҳавода жойлашган бўлади. Минора тепаси шатёр (чодир) билан ҳимояланган бўлиб, нарвонлар билан ўзаро бирлашган майдончаларда уларга хизмат кўрсатилади.

Нитроза усули билан сульфат кислота ишлаб чиқаришда минора асосий аппарат бўлиб, унинг диаметри 4,5–5 м ва баландлиги 16–18 м. Улар пўлатдан ясалади ва кислотага чидамли ғиштлар ёки андизит асосида тайёрланган кислотага чидамли цемент билан қопланади.

Минора ичида кислотага ёки андизитдан қурилган колонналарга керамик ҳалқалардан ясалган насадкалар ётқизилган бўлади. Майда ҳалқалар керамик панжарадан тушиб кетмаслиги учун аввал ўлчамлари 120×120×10 мм ҳалқаларни, сўнг 100×100×10 мм, 80×80×8 мм, кейин эса ўлчамлари 50×50×5 мм ҳалқалар ётқизилади. Насадкалар пастдан келаётган газ оқимининг гидравлик қаршилигини камайтириш мақсадида тўғри қаторлар бўйича ётқизилади.

Сульфат кислота минорага минора томига ўрнатилган томчи сачратувчи орқали киради, гидравлик тамба орқали эса оқиб чиқади. Миноралар бир-бири билан кислотага чидамли пўлат қопламали

газ ўтказгичлар оркали боғланган. Томчи сачратувчилар турли конструкцияли бўлиб, уларнинг вазифаси минора кесими бўйича кислотани бир текис таксимлашдан иборат бўлади.

1 т  $H_2SO_4$  га сарф коэффициентлари:

Колчедан (45 % S га ҳисоблаганда), кг	760 – 780
Нитрат кислота, кг	20 гача
Электр энергия, кВ-соат	25 – 30
Сув, м <sup>3</sup>	25 – 30

#### 4.6. СУЛЬФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШДА ТЕХНИКА ХАВФСИЗЛИГИ

Сульфат кислота ишлаб чиқаришда олтингугурт икки диоксиди, азот оксидлари, буғлар ёки қуруқ материаллар, тумансимон сульфат кислоталар билан заҳарланиш, сульфат кислота ва олеумга тегиб кетганда кимёвий куйиши, термик куйиш ва электр токи билан шикастланиш ҳоллари учраши мумкин.

Контакт аппаратига ванадийли, катализатор массасини солаётганда ва ундан бўшатаётганда ванадий бирикманинг чанги хавфли бўлиб, у қон айланишини ўзгартиради, яллиғланиши ва аллергиялик тери касаллигини келтириб чиқаради, нафас олиш органларига салбий таъсир кўрсатади. Конъюктивитнинг пайдо бўлишига ва буруннинг шиллик пардаси яллиғланишига сабаб бўлиши мумкин. Ишчи хонада ванадий чангги массасининг концентрацияси йўл қўйиладиган чегараси билан  $0,5 \text{ мг/м}^3$  га тенг бўлади. Чангга қарши распирторлаар ёки «ВКФ» маркали противогазлардан фойдаланиш зарур. Коммуникация ва аппаратларнинг қизиган сиртига тегиб кетиш натижасида куйиб қолиш, электр токи билан эҳтиётсизлик билан муомала қилганда шикастланиш мумкин.

**Олтингугурт диоксиди нафас олиш йўларига таъсир кўрсатади.** Унинг катта концентрациялари бўғиш, нафас қисилишига олиб келади. Ишчи хоналарда  $SO_2$  нинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси  $10 \text{ мг/м}^3$  га тўғри келади.  $SO_2$  таъсиридан ҳимояланиш учун фильтрловчи «V» ёки «ВКФ» маркали противогазлардан фойдаланадилар. Қучли шикастлангандан зарар кўрган кишини хона-

дан ташқарига тоза ҳавога олиб чиқиб, кислород бериш зарур. Керак бўлган ҳолларда тез тиббий ёрдамни чақириш лозим.

**SO<sub>3</sub> олтингурут уч оксиди** нафас олиш йўлларини кичитиб, қаттик йўтални кўзғатади, ўпканинг яллиғланишига сабаб бўлади. Ишчи хонада SO<sub>3</sub> нинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси 1 мг/м<sup>3</sup> атрофида бўлиши мумкин. Ҳимояланиш учун «ВКФ» маркали противогаздан фойдаланилади. Заҳарланганда 2 % ли ичимлик содаси билан томоқни чайиш, тезда шифокорга муурожаат этиш лозим.

**Маргумуш ва селен ангидридлари** жуда кучли заҳарловчи моддалардир. Ишчи хона ҳавосида маргумушли бирикмаларнинг йўл қўйиладиган концентрацияси чегараси кўпи билан 0,3 мг/м<sup>3</sup> атрофида бўлади.

**Сулфат кислота ва олеум** киши танасига текканида кучли, тез битмайдиган куйдиришга сабаб бўлади. Тананинг катта қисмини куйдириш билан шикастлаши жуда хавфли, баъзан у ўлимга олиб келиши мумкин. Терига сульфат кислота ёки олеум текканда уни кучли босим остида оқаётган сув билан тезда ювиб ташлаш керак. Сўнгра терининг куйган жойини 5 % ли сода эритмаси билан намлаб, вазелин суртиб қўйиш керак.

**Ток билан шикастланганда** шикастланган кишини иложи борица тезроқ ток таъсиридан озод қилиш, сунъий нафас олдириш керак ва шифокорни чақириш лозим.

Электр ўтказгич ёки электр жиҳози бузилиши натижасида ёнғин содир бўлиши мумкин. Бунда зудлик билан электр шитини токсизлантириш зарур ва ўт ўчириш гуруҳини чақириш ва олдини олиш учун цех маъмуриятига хабар қилиш керак.

**Углерод диоксида** – рангсиз, ҳидсиз, нордон таъмга эга газ. Ишчи хонада кишилар кам вақт бўлсалар ҳавода CO<sub>2</sub> микдори 0,2 ҳажм % ни ташкил қилиши мумкин; кишилар узок вақт туриб қоладиган бўлсалар ҳаводаги микдори 0,1 ҳажм % бўлиши керак.

#### НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Сульфат кислота олиш учун қандай хом ашё ишлатилади?
2. Колчедан, олтингурут куйдириш печларининг тузилишини айтиб беринг.



3.  $H_2SO_4$  ишлаб чиқаришда ювиш бўлимининг роли қандай?
4.  $SO_2$  ни оксидлаш учун қандай катализаторлар ишлатилади?
5.  $SO_2$  ни оксидлаш оптимал температураси деганда нима назарда тутилади?
6. Бир қатламли катализаторда  $SO_2$  ни  $SO_3$  нинг юкори оксидланиш даражасига нимага етказиш мумкин эмас?
7. ИК-ИА тизимини ишлаш принципини айтиб беринг.
8. Айланма азот деб нимага айтилади?
9. Контакт бўлими ишлашининг автоматик бошқариш принципини тусунтириб беринг.

#### 4.7. АММИАК ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

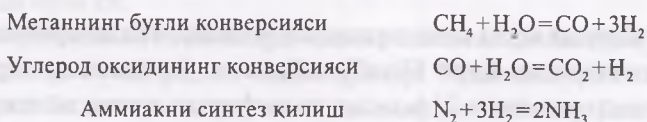
Азот табиатда жуда кенг тарқалган, у оксил моддаларининг асосий элементларидан бири бўлиб, ҳайвон ва ўсимликлар таркибий қисмини ташкил этади. У асосан атмосферада эркин молекулалар кўринишида бўлади. Ернинг 1 га майдони устида 80 минг тн. азот мавжудлиги ҳисоблаб чиқилган. Бироқ ўсимликлар атмосферадаги азотни бевосита ўзлаштиролмайди. Уларнинг озикланиши учун сувда ёки кучсиз кислоталарда эрийдиган ноорганик бирикмалар зарурдир. Азотли ўғитлар ишлаб чиқариш учун минерал хом ашёлардан жуда чекланган миқдорда фойдаланилади. Асосий хом ашё манбаи сифатида атмосферадаги азот ҳисобланади. Азотни эркин (молекуляр) ҳолатдан кимёвий бириккан шаклга ўтказиш кимёвий технология соҳасида «боғланган азот (ёки технологияси) ишлаб чиқариш» ибораси билан юритилади. Ҳаводаги молекуляр азотни азот таркибли бирикмалар кўринишида боғлашнинг бир неча усуллари асосийси аммиакли усул – аммиакни азот ва водороддан олишдир:  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$ . Аммиак синтез қилишининг назарий асослари Ф.Гарбернинг 1904–1907 йиллари Германияда амалга оширган илмий изланишларида баён этилган эди ва ўша ерда 1913 йилда К.Бош томонидан илк бор саноат қурилмаси яратилди.

Азотдан фарқ қилган ҳолда водород табиатда молекуляр кўринишда деярли учрамайди, аммо боғланган ҳолда – сув ва органик хом ашё (нефт, газ) кўринишида водороднинг захиралари ғоятда кўпдир. Водород сувдан кўмирни газ ҳолига ўтказиш орқали олин-



ган,  $(2C + O_2 = 2CO$  – газификация,  $CO + H_2O = CO + H_2$  – конверсия  $CO$ ) ҳамда сувни электролизлаш оркали олинган. Ҳозирги вақтда водороднинг асосий манбаи табиий газ ( $CH_4$ ) ва сув ҳисобланиб, иккала компонентдан ҳам  $H_2$  олинади. Олинadиган аммиак азот таркибли бирикмалар чиқаришнинг бошқа кўплаб турлари учун боғланган азотнинг бирдан-бир манбаи бўлиб қолди. Ҳар йили аммиак истеъмоли ўн миллион тонналаб миқдорни ташкил этади. Ундан фойдаланиш ўғитлар ишлаб чиқариш билан чекланмайди.  $NH_3$  қайта ишлашнинг асосий йўллари 4.28-расмда келтирилган.

**Аммиак ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси.**  
Кимёвий схема қуйидаги реакцияларни ўз ичига олади:

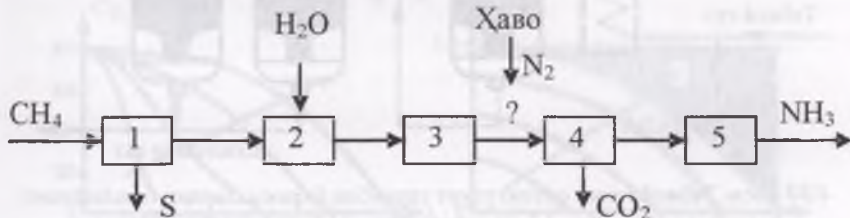


Барча реакциялар каталитик реакциялар бўлиб, бу ерда фақат асосий стехиометрик тенгламалар келтирилган. Функционал технологик тизимчалар табиий газнинг каталитик ядролари бўлмиш олтингугурт таркибли бирикмалардан тозалаш ҳамда азот водородли аралашмани углерод оксидидан тозалашни ўз ичига олади.



4.28-расм. Аммиакдан саноатда фойдаланиш.

Аммиак ишлаб чиқаришнинг функционал схемаси 4.29-расмда келтирилган. Ушуб схемада элементар азот олишнинг тузилмаси кўрсатилган – унинг ўрнига сўрок белгиси қўйилган. Кўрсатилган тизимчаларнинг бундан кейин кўриб чиқилишида хаводан азот ажратиб олиш усули асослаб берилди.



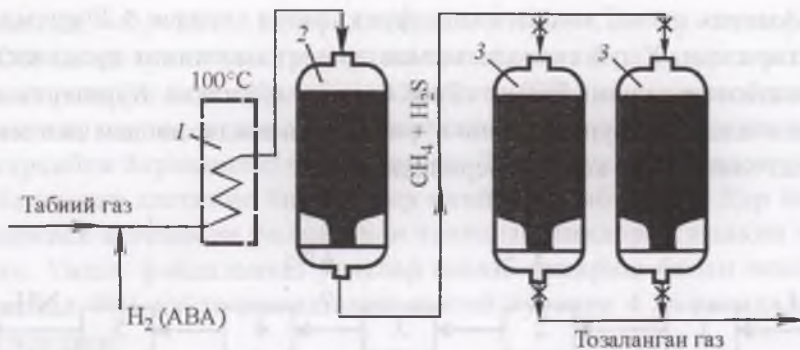
4.29-расм. Аммиак ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси:

1 – табиий газни олтингугуртли бирикмалардан тозалаш; 2 – метаннинг конверсияси; 3 – углерод оксиди конверсияси; 4 – углерод оксидларидан тозалаш; 5 – аммиак синтези.

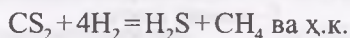
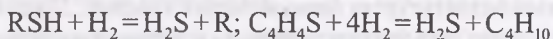
**Табиий газни олтингугуртли бирикмалардан тозалаш.** Табиий газ ўзида олтингугуртли бирикмалар аралашмаларини тутди. Улар меркаптанлар ( $RSH$ ), тиофен (гетероциклик бирикмалар  $C_4H_4S$ ), олтингугурт углерод ( $CS_2$ ), сульфидлар ( $R_2S$ ), олтингугуртли водород ( $H_2S$ ) ва бошқалардир. Бундан ташқари газга кучли ҳидга эга бўлган этилмеркаптан қўшилади. Ушбу қўшимча табиий газга ўзига хос ҳид беради (метан – ҳидсиз газдир). Бу хавфсизликни таъминлаш учун қилинади – портлаш хавфига эга бўлган газнинг силкиб чиқиши атрофдагиларга сезилиши зарур. Табиий газ таркибида олтингугуртнинг миқдори кўп эмас, ўртача бир неча ўн  $mg/m^3$  ни ташкил этади. Аммо олтингугурт барча кўринишда ҳам аммиак ишлаб чиқарилишида фойдаланиладиган катализаторларни заҳарлайди. Унинг миқдори  $0,5 mg S/m^3$  қийматдан ортмаслиги лозим.

Кам миқдордаги аралашмалардан тозалаш учун сорбцион усуллар самаралидир, бироқ турли компонентлар турлича ўзига хос сорбентлар орқали йўқотилади.

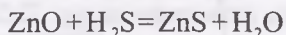
Кўп босқичли сорбцион тозалашдан қутулиш учун, барча олтингугурт таркибли бирикмалар аввал бир ҳолатга келтирилади – улар олтингугуртли водородгача гидратация қилинади:



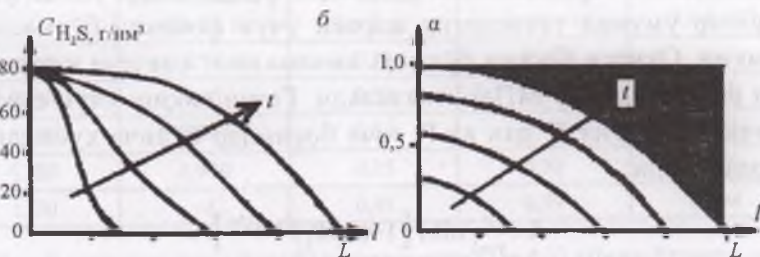
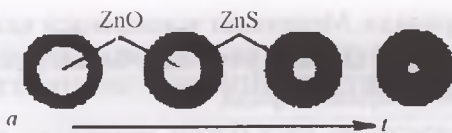
4.30-расм. Табий газни олтингургурт таркибли бирикмалардан тозалашнинг технологик схемаси: 1 – чўғланма иситгич; 2 – гидрирлаш реактори; 3 – абсорберлар АВА-азотоводородли аралашма.



Гидратлаш учун керакли водород азотоводородли аралашма кўринишида аммиак ишлаб чиқаришда мавжуд. У 15 % гача миқдорда кўшилади. Ушбу реакцияларда кобальт-молибденли катализатор 670K° ҳароратда фаол бўлади. Гидрирлаш реактори ичидан чиқувчи газда олтингургурт  $H_2S$  кўринишида мавжуддир ва шу ерда газни адсорберда тозалаш амалга ошади. Табий газни олтингургуртдан тозалашнинг технологик схемаси 4.30-расмда кўрсатилган. Олтингургуртни ютувчи рух оксидидир-ZnO:



Ютувчи модданинг тўлиқ ёки статистик олтингургурт ютиш ҳажми 670 K ҳароратда унинг массасининг 28 % ни ташкил этади. Фовакли доначанинг олтингургурт ютиши қатламма-қатлам тарзда содир бўлади (4.31, а-расм) ва «газ-каттик» жараёнининг «ўзаро таъсир қилмовчи ядроси» модели орқали баён этилади. Абсорбер – донатор ютувчи модданинг кўзгалмас қатлами солинган бир қатламли реактордир. Ундаги реакция зонаси (сорбция) қатлам баландлигининг фақат бир қисминигина эгаллайди ва сорбентнинг олтингургуртга тўйиниши билан қатлам бўйича ҳаракатланади (4.31, б-расм). Чикишдаги концентрация йўл кўйилган миқдордан ошиши

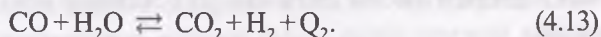
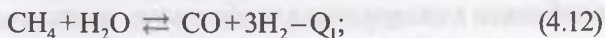


4.31-расм. Водород сульфидни рух оксиди оркали ютилиши:

*a* – ютувчи таблеткасининг олтингугуртга вақт бирлигида тўйиниши (кора билан кўрсатилган)-радиография маълумотлари. *б* –  $H_2S$  ( $C_{H_2S}$ ) концентрацияси-ни қатлам узунлиги  $l$  ва  $t$  вақт бўйича ҳамда ютувчининг  $\alpha$  – водород сульфид билан тўйиниши даражасининг ўзгариши.

билан (тахминан 2–3 ой ўтгач) оқим бошқа абсорберга ўтказилади, ишлатиб бўлинган ютувчи модда янгиси билан алмаштирилади. Модомики, бунда сорбентнинг ҳаммаси тўйинмаган экан (расмда тўйинмаган қисми штрих билан кўрсатилган), демак, амалдаги, ёки динамик олтингугурт ютиш ҳажми 15–18 % ни ташкил қилади.

**Метаннинг конверсияси.** Метаннинг сув билан ўзаро таъсири никель таркибли катализатор иштирокида содир бўлади ва у икки қайтар реакциялар орқали ифодаланади:



Булардан биринчиси – эндотермик, иккинчиси экзотермик реакциялардир. Уларнинг мувозанатига ҳарорат даражаси турлича таъсир кўрсатади: биринчисига ижобий ва иккинчисига салбий. Модомики, бошида метаннинг мумкин қадар тўлик ажратилишини таъминлаш лозим бўлар экан, демак, жараённинг ҳароратини кўтариш мақсадга мувофиқдир. Бунда иккинчи реакциянинг му-



возанати чап томонга сурилади. Метаннинг конверсияси ҳажм катталашуви билан содир бўлади, шунинг учун паст босим метаннинг янада тўлиқроқ ажралишига ёрдам беради.

Шу тариқа, юқори ҳарорат ва паст босим метаннинг конверсияланишига термодинамик жиҳатдан фойдалидир. Аммо ушбу шартлар умуман технологик жараён учун фойдали бўлмаслиги мумкин. Охири босқич бўлмиш аммиакнинг синтези юқори босим шароитида (30 МПа) ўтказилади. Газни сиқиш учун сарфланувчи А энергия  $P_1$  дан ва  $P_2$  гача босимлар бўйича куйидагича ифодаланади:

$$A = \frac{\gamma}{\gamma - 1} nRT \left[ 1 - (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma} \right]$$

бунда  $\gamma$ -политроп кўрсаткичи.

Энергия сарфланиши газ ҳажми  $n$ -моллар сонига мутаносибдир. Метан ва СО ларнинг тўлиқ ўтишида 4 моль водород ҳосил бўлади ва уларга азотнинг 4/3 моль стехиометрик миқдори қўшилади. Агар метан конверсияси термодинамик жиҳатдан фойдали, атмосфера босими остидаги шароитларда ўтказилса, кейинчалик азот-водород аралашмасининг беш ҳажмдан ортиқроғини сиқиш зарур бўлади.

Агар факат метаннигина (сув буғи босим остида киритилади) сиққан ҳолда, конверсияни оралик босим остида ўтказилса, энергия сарфи камроқ миқдорни ташкил этади. У ҳолда азот-водородли аралашманинг беш баробар ҳажмини сиқиш учун сарфланувчи энергия сезиларли равишда камаяди. Ҳар бир омилни ҳисобга олиб амалга оширилган ҳисоблашлар, конверсия босқичида 4 МПа миқдоридagi босим оптимал (энг мақбул) босим эканлигини кўрсатди.

Босимнинг метаннинг конверсияланиш мувозанатига бўлган таъсири 4.2-жадвалда келтирилган.

Буғ: газ  $\lambda = 2:1$  стехиометрик босимнинг 4 МПа миқдоргача кўтарилиши ҳаттоки 1300 К ҳароратда ҳам тўлиқ ўтишга эришишга имкон бермайди (жадвалнинг иккинчи устуни).

ТУРЛИ ҲАРОРАТЛАРДА Т, БУҒ: ГАЗ  $\lambda$  ВА P БОСИМЛАРДА  
МЕТАННИНГ ЎТИШНИНГ МУВОЗАНАТИ ДАРАЖАЛАРИ

T, K	$\text{CH}_4 - \text{x}_m$ ўтишнинг мувозанат даражалари			
	P=0,1 МПа $\lambda=2:1$	P=4 МПа* $\lambda=2:1$	P=4 МПа $\lambda=4:1$	P=3,3 МПа* $\lambda=4:1^{**}$
900	0,74	0,19	0,30	—
1000	0,91	0,33	0,50	0,64
1100	0,997	0,54	0,74	0,87
1200	0,999	0,75	0,92	0,97
1300	~1	0,91	0,99	0,994

Сув буғининг икки баробар ортиқлиги ( $\lambda=4:1$ ) тўлиқ ўтишга эришишга имкон беради:  $\text{x}_m = 99\%$  (жадвалнинг учинчи устун). Реакцион аралашманинг мана шундай таркиби саноатда қўлланилган.

Энди эса метан конверсиясининг танлаб олинган шароитларининг аппаратура-технологияга оид амалга ошувини кўриб чиқамиз. Мувозанат маълумотларига кўра, жараён учун юқори ҳарорат зарур бўлади. Ушбу шароитларда катализатор ниҳоятда фаол ва мувозанатга тез эришилади. Шунинг учун реактор ичида эришилган ўтишни етарли аниқлик билан мувозанат маълумотларидан аниқлаш мумкин. Метаннинг конверсияси-эндотермик реакциядир: метаннинг сув билан ўзаро таъсирининг иссиқлик эффекти 1 тенглама бўйича 206,4 кЖ/моль бўлиб, бошқа босқичнинг экзотермик эффектидан ортиқдир. (2) тенгламага К 41,0 кЖ/моль. Керакли иссиқлик катализатор жойлашган ва реакция содир бўлувчи, иссиқлик билан таъминловчи қувурларнинг девори орқали берилиши мумкин, яъни жараёни қувурсимон реакторда ёки аталишига кўра қувурсимон печда амалга ошириш мумкин. Қиздириш алангали инъекцион горелкаларда табиий газни ёқиш орқали амалга оширилади ва улар қувурлараро бўшлиқнинг юқори қисмида жойлаштирилади. 1200–1300 К ҳарорат остидаги тутун газлари реакторнинг пастки қисмидан чиқарилади.

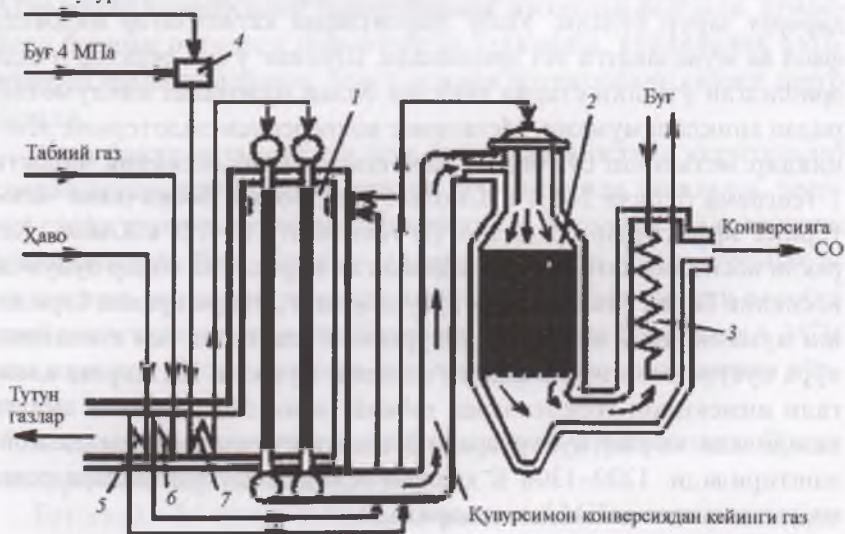
\* Метан конверсиясининг иккинчи босқичдан чиқишдаги босим.

\*\* Шахтали конверторга кириш олдидан ҳаво кўшиш билан.

Метаннинг тўлик ўтиши учун зарур бўлган ҳарорат – 1300 К, қувурлар тайёрлашда қўлланилган металл эса 1180–1200 К иссиқликдан ортиққа чидамайди. Қатламдаги максимал ҳарорат (чиқишда) табиийки пастроқ бўлади: 1080–1100 К. Метаннинг ўтиши 75 % дан ортиқ бўлмайди (4.2-жадвалга қаранг).

Конверсиянинг иккинчи босқичи жуда зарурдир. У адиабатик реактор ёки юритилишига кўра шахтали конвертор юқорида кўрсатилган. Унинг деворлари ичидан юқори ҳароратга чидамли материал бетондан футеровкаланган (қопланган) бўлиб, у корпусни ҳаддан ташқари қизиқ кетишдан сақлайди. Керакли ҳарорат реактор ичига ҳаво киритиш орқали ҳосил қилинади. Метаннинг бир қисми ҳаводаги кислород билан ёнади ва ҳарорат 1230–1280 К гача кўтарилади. Аммо ҳаво билан бирга азот ҳам киритилади. Шундай бўлгач шахтали конвертор ҳаводан азотни ажратиш функциясини ҳам бажаради. Шу билан 4.29-расмдаги элементар азот олиш тизимчаси тўғрисидаги масала ҳал этилди. Метан конверсиясининг технологик схемаси 4.32-расмда келтирилган.

Олтингургурдан тозалангандан кейинги табиий газ



4.32-расм. Метан конверсиясининг технологик схемаси:

1 – қуурсимон печь; 2 – шахтали конвертор; 3 – утилизацияловчи қозон;  
4 – аралаштиргич; 5–7 – киздиргичлар.



Бериладиган ҳавонинг миқдори шундай бўлиши керакки, бунда водород: азот нисбати аммиакнинг синтез қилиниши учун стехио- метрик бўлиб, 3:1 га тенг бўлиши лозим. Ҳисоблашни метаннинг ҳажм бирлигига мувофиқ равишда олиб борамиз:

ҳосил бўлувчи  $H_2$  – 4 ҳажм;

керакли  $N_2$  – 1,33 ҳажм ёки ҳаво –  $1,33/0,79 = 1,69$  ҳажм (0,79-ҳаво- даги  $N_2$  миқдори);

ҳаво билан  $0,21 \cdot 1,69 = 0,354$  ҳажм кислород киритилади;

кислород орқали газнинг ёниши учун стехио метрик тенгламага мувофиқ  $2O_2 + CH_4 = CO_2 + 2H_2O$  0,177 ҳажм метан  $CH_4$  сарф бўлади.

Ушбу қўшимча равишдаги метан миқдорини ҳисобга олган ҳолда қувурсимон 1 реакторнинг биринчи конверсия босқичига киришда 1,177 ҳажм  $CH_4$  ва 4,7 ҳажм  $H_2O$  берилади (буғ : газ=4:1 нисбатда), иккинчи босқичга – шахтали конверторга 2–1,69 ҳажм ҳаво берилади. Шахтали конвертордан кейин ҳарорат 1230–1280 К ва босим 3,3 МПа ни ташкил этади, бу реакторларнинг гидравлик қаршиликлари сабаблидир. Реакцион аралашмага инерт газ бўлмиш азотни қўшиш ҳам, босимнинг камайтирилиши ҳам реакция муво- занатининг ўнг томонга сурилишига ёрдам беради. Бундай аралаш- манинг таркиби учун метаннинг ўтишининг мувозанат даражалари 5.4-жадвалнинг охириги устунида келтирилган. Шахтали реактор- дан кейин қуруқ газнинг таркиби:

$H_2$ –57–58 %;  $N_2$ –22–23 %;  $CO$ –12–12,5 %;

$CO_2$ –7,5–8 %;  $CH_4$ –0,3 %.

Газдаги сув буғининг миқдори – 35–39 %.

Реакцион аралашманинг иссиқлиги реактордан кейинги ути- лизатор-қозонда 3 да утиллаштирилади.

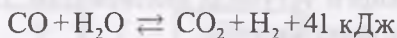
Албатта, жараёни фақат шахтали конверторнинг ўзида ўтқа- зиш мумкин. Аппаратура жиҳатдан бу фойдали: табиий газнинг ёнишидан ҳосил бўлувчи иссиқлик реактор ичида ажралади ва ундан эндотермик реакциянинг режимини ушлаб туриш учун фойдаланиш энг тўлиқ бўлади (қувурсимон реакторда деворнинг термик қаршилигини ҳамда катализаторнинг донатор қатлами қаршилигини енгиш зарур). Модомики, азотнинг миқдори доза- ланган бўлиши лозим экан, иссиқликни эса жуда кўп миқдорда бе-



рилиши керак экан, демак, ҳаво кислороди етмаслиги аниқ. Реактор ичига кислород билан бойитилган ҳаво берилади. Метаннинг бир босқичли буғ кислород ҳаволи конверсияси аввалроқ ёйилган бўлади. Аммо унда реакция аралашманинг иссиқлигини самарали тарзда фойдаланиш ва ёниш маҳсулотларини ажратиб олиш қийинроқ кечади. Схемаларга оид ечимларни оптимизациялаш реактор ичидаги жараённинг оптимизацияланиши устидан устунлик қилади. Аммиак ишлаб чиқаришнинг ҳозирги замон кўриниши метаннинг икки босқичли конверсиясини ўз ичига олади.

**СО нинг конверсияси.** Метаннинг конверсияланиш босқичида юқори ҳарорат водород олиш учун СО нинг салоҳиятидан фойдаланишга имкон бермайди. СО нинг реакцияни тескари томонга қараб содир бўлишига монелик қилувчи (4.12) танланган конверсия жараёни катализаторнинг ўзига хос тарздаги таъсирида олиб борилади. СО конверсиясининг селектив катализаторларидан темир-хромли ва мис таркибли катализаторларидир. Булардан биринчиси 600–700 К ҳароратларда фаол, иккинчи 480–530 К ҳароратда бундан ҳам фаолроқ, аммо янада юқорироқ ҳароратларда фаоллиги пасаяди (дезактивацияланади).

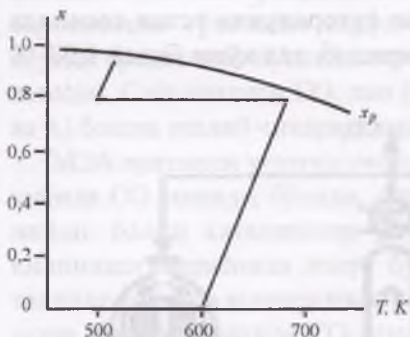
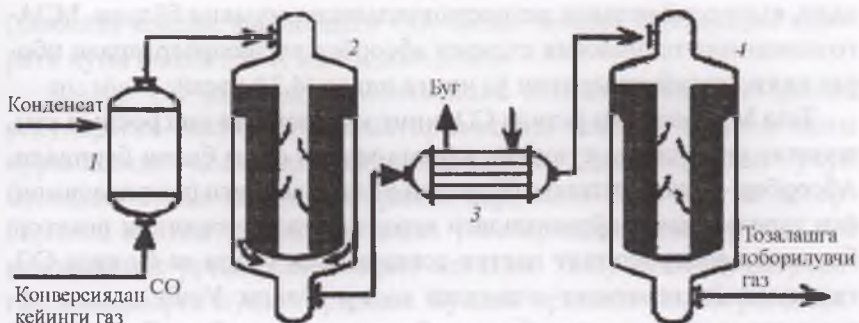
СО нинг конверсияси қайтар экзотермик реакциядир:



SO<sub>2</sub> нинг оксидланиш реакцияси сингари реакция реакторда катализаторнинг адиабатик қатламлари билан ва улар оралиғида соvuтишлар орқали ўтказилади. Оралиқ утилизатор-қозони бўлган қурилманинг технологик схемаси 4.33-расмда келтирилган; бу ерда «Т-х» диаграмма ҳам кўрсатилган; Биринчи қатламда (реакторда) термобарқарорроқ бўлган темирхромли катализатор, иккинчисига эса юқори фаолликка эга бўлган мис таркибли катализатор солинган. Буғ : газ нисбати = (0,6 ÷ 0,7) : 1 га тенг бўлиб, намловчи орқали ушлаб турилади.

СО нинг қолган миқдори 0,3–0,5 % ни ташкил қилади.

Баъзи схемаларда оралиқ соvuтиш конденсатни пуркаш орқали амалга оширилади ва сувнинг буғланиши ҳисобига қатламлар орасидаги ҳарорат пасаяди. Шу билан бир вақтда буғ: газ нисбати, яъни реагентлардан бирининг ортиқча миқдори кўпаяди ва ўтишнинг



4.33-расм. CO конверсиясининг технологик схемаси ва «Т-х» диаграммаси:

1 – намловчи; 2 – реактор темирхромли катализатор билан; 3 – утилизатор-козон; 4 – мис таркибли катализатор солинган реактор;  $x_m$  – CO ўтишининг мувозанат даражаси; синик чизик-жараённинг режими.

керакли даражасига анча юқори ҳароратларда эришилади. Бундай схема иккала қатламга темирхромли катализатор юкланиши ҳолатларида қўлланиши мумкин бўлар эди.

#### 4.7.1. Углерод оксидларидан тозалаш

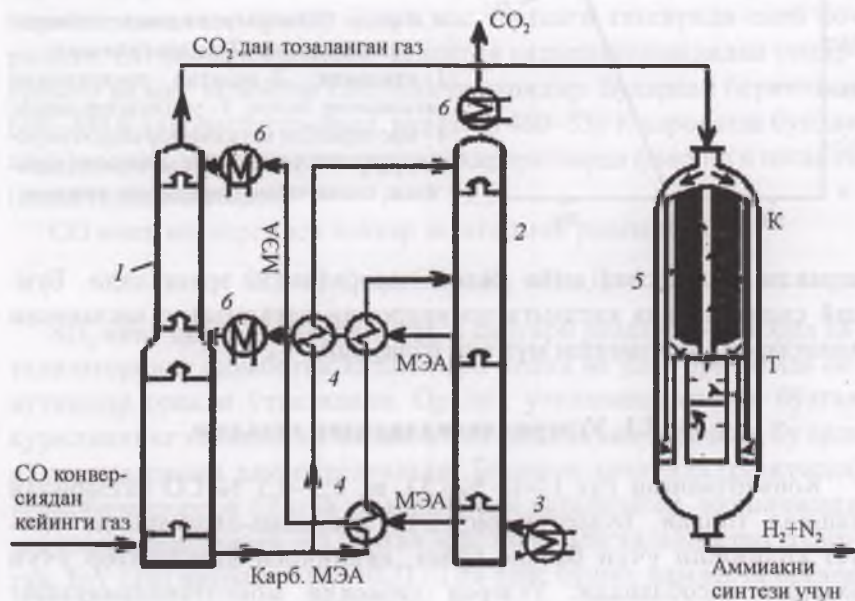
Конвертланган газ 17–18 %  $\text{CO}_2$  ва 0,3–0,5 % CO газларидан ташкил топади. Булардан биринчи аралашма-аммиакнинг синтез қилиниши учун баланс бўлса, иккинчиси катализатор учун захарли ҳисобланади. Углерод диоксиди моноэтаноламиннинг  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  (МЭА-тозалаш) 19–21 % сувли эритмаси орқали абсорбцияланади:



$\text{CO}_2$  нинг ютилиши (МЭА эритмасининг карбонизацияси) қайтар жараён дир. Ҳароратнинг кўтарилиши билан мувозанат чапга сури-

лади, яъни сорбентнинг регенерацияланиши мумкин бўлади. МЭА-тозалашнинг технологик схемаси абсорбер ва десорберлардан иборат икки асосий аппаратни ўз ичига олади (4.34-расм).

Тоza МЭА-эритма устида  $\text{CO}_2$  нинг мувозанатга оид босими кам, шунинг учун газ ва суюқлик карама-карши оқим билан берилади. Абсорбер – икки секцияга бўлинган учли шаклдаги (насадкасимон) ёки тарелкасимон кўринишдаги вертикал газ-суюқликли реактор. Газ аввал абсорбернинг пастки секциясидан ўтади ва бу ерда  $\text{CO}_2$  гази асосий қисмининг ютилиши содир бўлади. Ушбу секция регенерацияланган эритма билан тўлиқ суғорилмайди. Яхши (тоза) регенерацияланган МЭА-эритма билан суғориловчи устки секцияда қайта тозалаш жараёни амалга оширилиб, газ кўпи билан 0,03 %



4.34-расм.  $\text{CO}_2$  дан (МЭА-тозалаш) ва  $\text{CO}$  дан (метанлаш) тозалашнинг технологик схемаси:

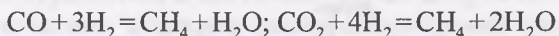
1 – абсорбер; 2 – десорбер; 3 – қайнатгич; 4 – иссиқлик алмаштиргич; 5 – метанлаш реактори (К – катализатор, Т – иссиқлик алмаштиргич); 6 – совутгичлар; МЭА – моноэтаноламин, МЭА – тўлиқ регенерацияланган МЭА, карб МЭА – карбонизацияланган МЭА.



(ҳажмий) қолдик миқдордаги  $\text{CO}_2$  билан чиқади. Абсорбция ҳарорати қўпи билан 330 К ни ташкил этади.

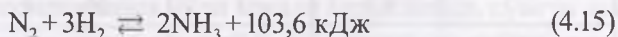
80–100 г/л карбонат кислотасидан иборат тўйинган эритма рекуператив иссиқлик алмаштиргичларда исийди ва учта оқим кўринишида десорберга йўналтирилади. Десорбциялаш учун иссиқлик буғли қайнатгич орқали берилади. Тоза эритма десорбернинг пастки қисмидан, дағал регенерацияланган эритма эса колоннанинг ўртасидан чиқариб олинади. Ушбу оқимлар совутилгач, абсорберга йўналтирилади. Бундай «рецикл билан регенерациялаш» схемаси аралашманинг тоза ҳолда ажратилишига ҳамда сорбентнинг тўхтовсиз сарфланишига йўл қўймаслик имконини беради (фақатгина йўқотишларнинг ўрнини тўлдириш учун сарфланади). Соф ҳолдаги  $\text{CO}_2$  дан (карбамид, каттиқ карбонат кислота ва б.) бошқа ишлаб чиқаришларда фойдаланилади.

МЭА эритмаси углерод оксидини ютмайди ва чиқаётган газ таркибида  $\text{CO}$  мавжуд бўлади. Аралашма сифатида у ажратиб олинмайди, балки катализатор учун зарарсиз ҳамда аммиак синтез қилиниши жараёнида инерт бўлган метанга айлантирилади. Метаннинг тескари конверсияси реакцияси билан (метанлаш), катализатор заҳари сифатида  $\text{CO}$  дезактивацияланади. МЭА-тозалаш жараёнидан бўлган реакторга юборилади (4.34-расмда кўрсатилган). Бу ерда шунингдек  $\text{CO}_2$  гидрацияланади:



$\text{CO}$  миқдори кам ва адиабатик қиздириш бир неча ўн даражани ташкил этади. Бу эса бир қаватли реактордан фойдаланишга имкон яратади. Аммиакнинг синтез қилиниши учун келаётган, тозаланган синтез-газда мавжуд  $\text{CO}$  миқдори  $20 \cdot 10^{-6}$  ҳажмий улушдан ошмаслиги лозим. Метаннинг умумий миқдори синтез-газ таркибида 1 % га яқинни ташкил этади.

**Аммиакнинг синтези** куйидаги реакцияга мувофиқ



Ушбу реакция қайтар бўлиб, иссиқлик ажралиши ва ҳажм қисқариши билан содир бўлади. Ле-Шателье тамойилига мувофиқ, ҳароратнинг пасайиши ва босим кўтарилиши билан реакциянинг мувозанати аммиакнинг кўпайиши томонга сурилади.



Азотоводородли-аммиакли аралашма – идеал газ эмас ва реакци-  
янинг мувозанат константаси  $K_M$  мураккаб равишда ҳарорат  $T$  ва  
босимга  $P$  боғлиқ бўлади. Маълумотномага онд адабиётда  $K_M$  ни  
ҳисоблаш ва мувозанат бўйича аниқ формулалар келтирилган.  
600–900 К ҳароратли ва 20–40 МПа босимли соҳаларни тахминий  
бўлсада ҳисоблаш учун аппроксимирловчи тенгламалардан фойда-  
ланиш мумкин:

$$\ln K_M = -29,44 + 12770/T - 0,41 \ln P;$$

бу ердаги  $K_M$  (4.4) стехиометрик тенглама учун аниқланган; ўлчамлар  
бирлиги  $T[K]$ ,  $P[at]$ .

Агар дастлабки (бошланғич) стехиометрик аралашма 1 моль  
 $N_2$  ва 3 моль  $H_2$  миқдорлардан иборат бўлган бўлса, у ҳолда  
ўтишнинг мувозанат даражасида  $x_m (1-x_m)$  моль  $N_2$  ва 3  $(1-x_m)$   
моль  $H_2$  қолади,  $2 x_m$  моль  $NH_3$  ҳосил бўлади, умумий ҳажм эса  
камайиб,  $(4-2x_m)$  мольга тенг бўлиб қолади. Ҳажмий концентра-  
циялар  $(1-x_m)/(4-2x_m)$ ,  $3(1-x_m)/(4-2x_m)$  ва  $2x_m/(4-2x_m)$  га мувофиқ  
тенг бўлиб қолади. Реакция мувозанатини куйидаги тенглама  
орқали ифодалаймиз:

$$K_M = \left[ \frac{P_{NH_3}^2}{P_{N_2} P_{H_2}^3} \right]_{\text{мувоз.}} = \frac{4^2 (2-x_m)^2}{3^3 p^2} \frac{x_m^2}{(1-x_m)^4},$$

Ўтишнинг мувозанатли даражаларини касрдан топиш 4.3-жад-  
валда келтирилган.

4.3-жадвал

**СТЕХИОМЕТРИК АЗОТОВОДОРОД АРАЛАШМАСИНИНГ  
АММИАККА АЙЛАНИШИ МУВОЗАНАТЛИ ДАРАЖАЛАРИ,  $x_m$**

Ҳарорат, К°	P (МПа) босимлардаги $x_m$				
	0,1	1	10	30	100
600	0,0810	0,140	0,61	0,61	0,89
700	0,0024	0,036	0,33	0,57	0,78
800	0,0008	0,012	0,15	0,36	0,63
900	0,0003	0,005	0,07	0,21	0,47

Реакция (Al, K, Ca ва б.) элементларни барқарорлаштирувчи ва беҳуда сарфланишига йўл қўйувчи ғовакли темир катализатори иштирокида содир бўлади. У 650–830 К ҳароратлар атрофида фаол ва термик жиҳатдан турғундир. Шунинг учун синтез босимларининг sanoатга оид муҳим соҳаси 20 МПа миқдордан юқори бўлиб, бунда ўтиш даражаси 20 % дан ортиқ бўлади. Жараённинг техник-иктисодий асослари жараённинг 30–32 МПа босимда бўлиши энг мақбул (оптимал) ечим эканлигини кўрсатади. Босимнинг кўтарилиши аммиак миқдорининг кам ҳосил бўлиши муносабати билан ускуна ва қурилмалар ҳамда компрессияга бўладиган сарф-харажатларни кескин кўтариб юборади. Бу шарт-шароитлардан аммиак ишлаб чиқаришнинг замонавий агрегатларида фойдаланилади. Бундан кейин синтез тизимида жараёнларни таҳлил этишда азотоводородли аралашманинг  $x_m$  анъанавий ўтиш даржасидан эмас, балки куйида кўрсатиладиган нисбат билан боғлиқ, реакцион аралашмада аммиак концентрациясидан  $Z$  фойдаланамиз:

$$Z = x / (2 - x) \quad (4.16)$$

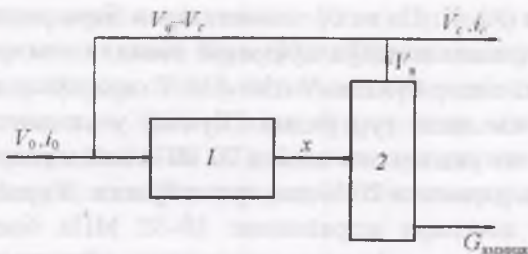
$i$  инертлардан ташкил топган аралашма учун

$$Z = \frac{(1-i) x}{2 - (1-i) x} \quad (4.17)$$

Кўриниб турибдики,  $Z$  катталиқ  $x$  қийматдан кичик, концентрация оқим ҳолатини яхшироқ тавсифлайди (унинг таркиби, ўтиш тезлиги, маҳсулот ажралиш имкониятларини ва ҳ.к.).

Танлаб олинган ҳарорат ва босимда реакторда тўлиқ ўтишга эришилиб бўлмайди – чикувчи газда 16 % яқин  $NH_3$  мавжуд бўлади (ўтиш даражаси 27–28 %). Азотоводородли аралашмадан янада тўлиқроқ фойдаланиш учун рецикл қўлланади – реактордан кейин маҳсулот (аммиак) ажратиб олиниб, реакцияга киришмай қолган  $H_2$  ва  $N_2$  реактор ичига қайтарилади. Аммиак аввал ҳаво орқали совитувчи совитгичда конденсация йўли орқали ажратилади, сўнгра эса конденсацион колонна ичида манфий 2–5°C ҳароратда қайта ажратилади.

Шундай бўлса ҳам, аммиакни тўлиқ ажратиб олишга эришилмайди ва синтезлаш реактор ичига киришда аммиак миқдори 3 % ни ташкил этади.



4.35-расм. Учириб (пуфланиб) олиб кетилишнинг хисоблашнинг циркуляцион схемаси:

1 – реактор; 2 – маҳсулот ажралиш тизими.

Келаётган реакцион аралашма таркибида 1,4 % миқдоргача инерт бўлади (хаво орқали кириб қолган  $\text{CH}_4$  ва  $\text{Ar}$ ). Маҳсулот билан бирга чиқмаган ҳолда ушбу инертлар рециклда тўпланади. Циркуляцияланувчан газдаги уларнинг миқдори газнинг бир қисмини чиқариш йўли билан (учириш, пуфлаш) 16 % агрофида тутиб турилади. Ташланувчи газнинг ҳажмини циркуляцион схеманинг (4.35-расм) моддий баланси орқали топамиз. Кириб келаётган газда  $i_0$ , ташланадиган газда эса (циркуляцияланувчилар ҳам) –  $i_c$  инертлар мавжуд бўлади. Тизим ичига кирувчи  $V_0$  ҳажмдаги синтез-газ унинг ичидан  $G_{\text{аммиак}}$  миқдордаги аммиак кўринишида ва  $V_c$  ҳажмдаги учирилувчи кўринишида чиқади.

Кирувчи ва чиқувчи оқимлар орасидаги азотоводородли аралашма бўйича массавий баланс қуйидагича:

$$V_0(1-i_0)\gamma = G_{\text{аммиак}} + V_c(1-i_c)\gamma, \quad (4.18)$$

бу ерда  $\gamma$  –  $\text{H}_2$  ва  $\text{N}_2$  стехиометрик аралашманинг зичлиги.

Кирувчи синтез-газ ва чиқувчи оқимлар орасидаги инерт бўйича массавий баланс қуйидагича:

$$V_0 i_0 = V_c i_c \quad (4.19)$$

Реактор олдидан янги синтез-газ ( $V_0$ ) ҳамда циркуляцияланувчи ( $V_{\text{ц}} - V_c$ ) газдан иборат иккита оқим аралашади. Реактор ичида ҳосил бўлувчи аммиакнинг миқдори  $G_{\text{аммиак}}$  азотоводород аралашмасининг  $x$  ўтиш даражасида қуйидагича бўлади:

$$G_{\text{аммиак}} = [V_0(1-i_0) + (V_{\text{ц}} - V_c)(1-i_c)]\gamma x \quad (4.20)$$

(4.7) ва (4.8) баланс тенгламан орқали, (4.9) тенгламадан фойдаланилган ҳолда  $G_{\text{аммиак}}$  аммиак бўйича ишлаб чиқариш реактори учун ўчириб кетиш хажми ва рециклини ҳосил қиламиз:

$$V_c = V_0 i_0 / i_c \quad (4.21)$$

$$V_{\text{II}} = \frac{(V_0 - V_c)(1-x)}{(1-i_c)x} \quad (4.22)$$

Реактор ичидаги ўтиш даражасини унда мавжуд бўлган аммиак концентрацияси орқали аниқлаймиз:

$$x = x_0(Z_0) - x_6(Z_6) \quad (4.23)$$

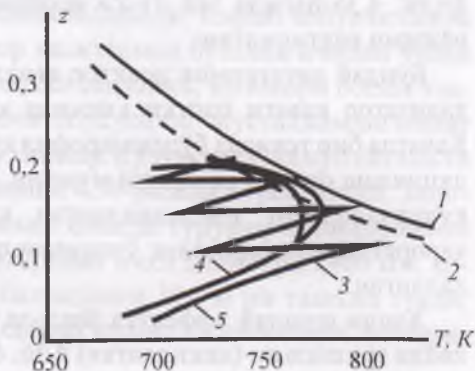
Бунда  $x_0(Z_0)$ ,  $x_6(Z_6)$  – аммиакнинг охириги  $Z_0$  ва бошланғич  $Z_6$  концентрацияларидаги, (4.6) тенгламадан инерт миқдори  $i_c$  бўлишидаги азотоводород арашмасининг ўтиш даражалари.

(4.21) ва (4.22) тенгламалар бўйича ҳисоблар юқорида баён этилган жараён режимида ( $i_0$ ,  $i_c$ ,  $Z_6$ ,  $Z_0$  қийматларда), янгигина синтез-газ оқимидан ўчириб олиб ютилувчи (пуфланувчи) миқдор 8 % ни ташкил этади, циркуляцияланувчи оқим эса ундан уч баробардан ортик миқдорга кўп эканлигини кўрсатади. Бир тонна аммиакка тўғри келадиган синтез-газ сарфи 2600  $\text{нм}^3$  ни ташкил этади. Қуввати 1360 т/сут бўлган замонавий аммиак агрегатида циркуляцияланувчи оқими 450 минг.  $\text{нм}^3/\text{соат}$  ни ташкил қилади.

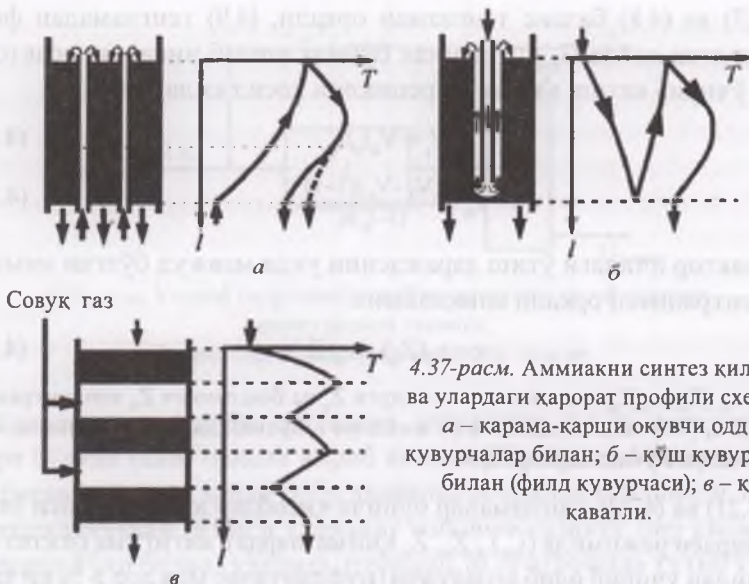
Аммиакни синтез қилиш реакцияси – қайтар экзотермик реакция. Ҳарорат назарий оптимал қийматга яқин бўлиши учун реакция зонадан иссиқлик олиб турилиши зарур. 4.36-рasm, 2-эгри

4.36-рasm. Аммиакни синтез қилиш реактордаги жараён режимининг «Т-Z» диаграммаси:

1 – мувозанатли концентрациялар; 2 – оптимал ҳароратлар; 3 – кўп қаватли реактордаги жараён; 4-5 – қувурсимон реактордаги жараён (мувофиқ реактордаги битталиқ ва иккиталиқ қувурчалар).







чизик. Бу совитилувчи қувурсимон реакторда ёки бўлмаса оралиқ иссиқлик алмашилиши билан ишловчи қўп қаватли реакторда амалга оширилади. Реакторлар схемалари 4.37-расмда кўрсатилган.

Қувурсимон реакторда реакция зонадан иссиқлик янги реакция зонага ўтказилади. Катализатор қувурлараро бўшлиққа жойлаштирилади. Газ қувурчаларга кириб (4.37, а-расм) исийди ва улардан чиқиш чоғида қарши оқим таъсири остида катализатор қаватига қараб бурилади. 4.37-расмда реактордаги ҳароратлар профили, 4.36-расмда эса «Т-Z» координатлардаги қаватдаги жараён режими келтирилган.

Бундай автотермик реактор аввалроқ кўриб чиқилган эди. Катализатор қавати пастки қисмида кучли совиб кетиши мумкин. Қаватда бир текисда бўлган профил қувурчаларнинг бир қисми изоляциялаш орқали олиниши мумкин. Расмда энлироқ чизик орқали қувурчаларнинг изоляцияланган қисми ажратиб кўрсатилган, ҳароратлар профилининг ўзгариши пунктир чизиклар орқали ифодаланган.

Худди шундай эффектга Фильда қувурчаларидан фойдаланган ҳолда эришилган (иккиланган) 4.36, б-расм. Газ ички қувурчаларга

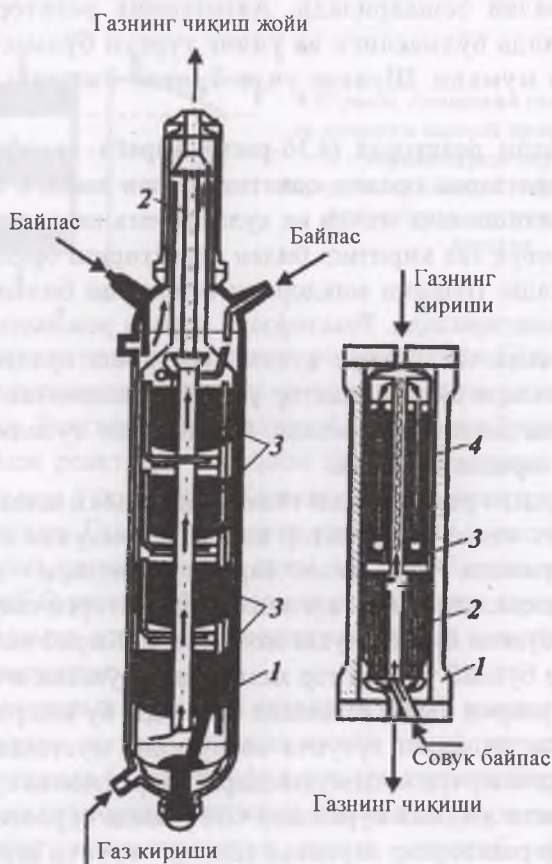
киради, сўнг ички ва ташқи қувурчалар оралиғидаги ҳалқасимон бўшлиққа томон борилади. Улардан ўта туриб газ катализатор қаватидан иссиқлик олиб, шу билан бир вақтда иссиқликнинг бир қисмини ички қувурчалардаги мавжуд газга узатади. Иссиш анча раво содир бўлади, бу эса қаватдаги режимни яхшилайдди. Жараён бевосита қават олдидаги совуқ газнинг бир қисмини олиб келиш йўли билан, қаватдан бошланғич ҳароратнинг  $T_6$  ўзгариши билан бошқарилади. Автотермик реакторда режимнинг бир хилда бўлмаслиги ва унинг турғун бўлмаслик ҳолати кузатилиши мумкин. Шунинг учун  $T_6$  нинг ўзгариш чегаралари чекланган.

Кўп қаватли реакторда (4.36-расм) жараён адиабатик тарзда бир неча қаватларда оралиқ совитиш билан амалга оширилади. Реактор тузилишининг ихчам ва қулайлигига қаватлар орасидаги ҳароратни совуқ газ киритиш билан пасайтириш орқали эришиш мумкин бўлади. Пуфлаш миқдорини бошқариш билан режим назарий яқинлаштирилади. Реактордаги жараён режимини оптималлаштириш, яъни энг мақбул нуқтага келтириш оралиқ иссиқлик алмаштиргичлари бўлган реактор учун баён қилинганларга айнан ўхшаш тарзда амалга оширилади. Реакторнинг тузилмаси охириги вақтда кенг тарқала бошлади.

Барча турдаги реакторларда газнинг дастлабки исиши иссиқлик алмаштиргич ичида катализатор қаватидан чиқувчи оқим орқали амалга оширилади. Реакторнинг барча элементлари – катализатор қаватлари, иссиқлик алмаштиргичлар, аралаштиргичлар юқори босим остида бўлган бир корпусда жойлашади. Кириб келувчи совуқ газ деворлар бўйлаб ўтувчи тор ҳалқасимон бўшлиқ ичидан ўтади ва бу билан уларни кизиби кетишдан сақлайди. Бу юқори босим таъсирида ўзида юкланиш тутувчи корпуснинг мустаҳкамлигининг сақланиб туриши учун жуда муҳимдир. Қувурсимон ва кўп қатламли реакторларнинг умумий кўриниши 4.38-расмда кўрсатилган. Замонавий ташқи реакторлар вертикал ҳолатда турувчи цилиндрсимон аппаратлардан иборат бўлиб, уларнинг ички диаметри 2400 мм, деворининг қалинлиги 265 мм, баландлиги 19,4 м ни ташкил этади. Шунинг учун улар аммиакни синтез қилиш колонналари деб юрилади.

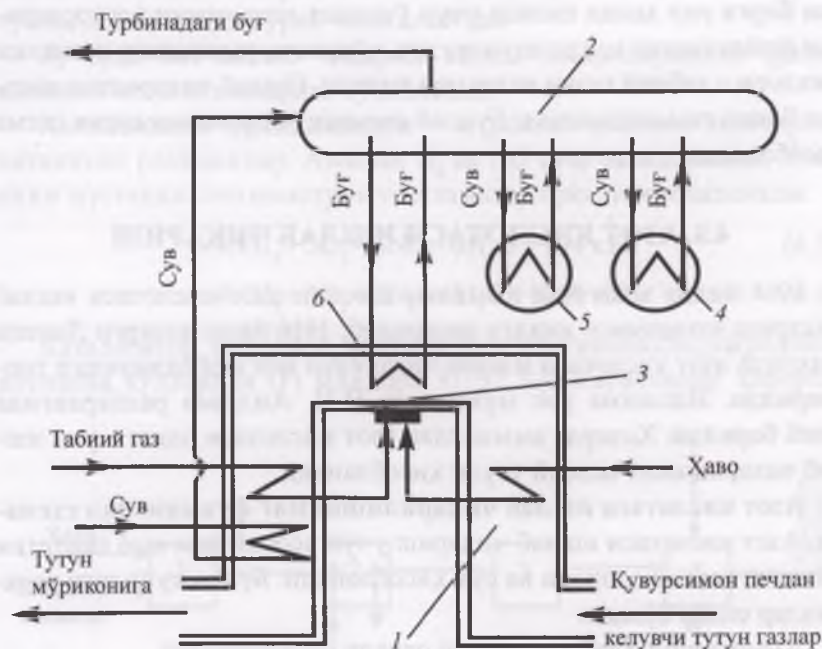
#### 4.7.2. Аммиак ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим

Табиий газ ва технологик ҳавони 4,5 МПа гача сиқиш, азотоводородли аралашмани 32 МПа гача сиқиш, унинг синтез тизимчаси ичида циркуляцияланиши юқори қувватли турбокомпрессорлар ёрдамида амалга оширилади. Бундан ташқари энергетик тизимда яна бир қатор машиналар мавжуд. Умумий энергия истеъмоли 880—



4.38-расм. Аммиакни синтез қилиш реакторларининг умумий кўриниши:  
а – кўп қатламли радиал катламлар билан; б – иссиқлик алмаштиргичли  
иккиланган Фильд қувурчалари билан; 1 – корпус; 2 – иссиқлик алмаштиргич;  
3 – катализатор; 4 – Фильд қувурчаси.

900 кВт·соат/т  $\text{NH}_3$  ни ташкил этади. Валининг айланиш частотаси 11000 айл./мин бўлган, аммиак ишлаб чиқаришнинг барча истеъмол қилинувчи энергиясининг ярмидан кўпини истеъмол қилувчи газ-синтез компрессорлари бош қурилма ҳисобланади. Ушбу компрессорни ҳаракатга келтириш учун электродвигателни қўллашнинг иложи бўмайди. Шунинг учун буғ турбинасидан фойдаланилган. Унинг энергия тутувчиси – юкори параметрга эга бўлган буғ бўлиб, у 10 МПа гача босими ва 720–740 К ҳароратдан иборат. Бошқа компрессорлардан фойдаланиш учун кичикроқ параметрли энергия тутувчи буғ турбиналаридан фойдаланилади. Истеъмол қилинувчи қувватнинг қопланиши ташқаридан энергия келтириш ёки ўзининг энергия тутувчисидан, хусусан, энергетик сув буғидан фойдаланиш ҳисобига амалга оширилиши мумкин бўлади.



4.39-расм. Аммиакни синтез қилиш агрегатининг энерготехнологик тизими:  
 1 – кувурсимон печдан кейинги газ йўли; 2 – буғ тўплагич; 3 – қўшимча горелка;  
 4–5 – утилизатор-қозонлари (шахтали метан конверторидан ва мувофик равишда  
 СО конверсиясидан кейинги); 6 – ёрдамчи қозон.



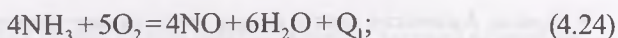
Аммиак ишлаб чиқаришда конвертирланган газ ҳамда метаннинг конверсияланишидан кейинги тутун газлари каби юқори лаёқатга эга бўлган технологик окимлар мавжуд. Аммо уларнинг қуввати ва лаёқати юқори параметрли буғ ҳосил қилиниши учун етарли эмас. Бунда қўшимча равишда юқори ҳароратли энергия манбаи зарур бўлади. Мана шу вазифани бажарувчи қўшимча энергетик узел бўлиб, у аланга билан қиздирилувчи ва қувурсимон печдан кейинги газ йўлига ўрнатилган қўшимча қозондан иборат (4.39-расм). Технологик окимлар линияларидаги утилизатор-қозонлари ҳамда қўшимча қозонда ҳосил қилинувчи буғ буғ тўплагичда йиғилади ва бу ердан компрессорларнинг ҳаракатга келтириш қисми (привод) бўлмиш буғ турбиналарига тақсимланади. Шу тариқа, аммиак ишлаб чиқариш энергетик буғ бўйича автоном ҳисобланади, шу билан бирга уни ҳосил қилиш учун ўзининг иккиламчи ресурсларидан фойдаланган ҳолда, шунингдек, қўшимча равишдаги иссиқлик миқдори – табиий газни истеъмол қилади. Ишлаб чиқаришни энергия билан таъминлашнинг бундай схемаси энерготехнологик схема ҳисобланади.

#### 4.8. АЗОТ КИСЛОТАСИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

1914 йилда кокс газни аммиаки асосида азот кислотаси ишлаб чиқариш ишланмаси амалга оширилиб, 1916 йили ҳозирги Донецк шаҳрида азот кислотаси ишлаб чиқарувчи цех фойдаланишга топширилди. Ишланма рус муҳандиси И.Н. Андреев раҳбарлигида олиб борилди. Ҳозирда аммиакдан азот кислотаси олиш – уни ишлаб чиқаришнинг асосий усули ҳисобланади.

**Азот кислотаси ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси.** Азот кислотаси ишлаб чиқариш учун асосий хом ашё синтетик аммиак, ҳаво кислороди ва сув ҳисобланади. Бунда қуйидаги реакциялар содир бўлади:

Аммиакнинг ҳаво кислороди орқали оксидланиши



Азот оксидининг азот диоксидигача қўшимча равишда оксидланиши



NO газининг сув оркали ютилиб, азот кислотаси ҳосил бўлиши

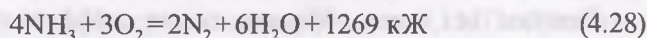
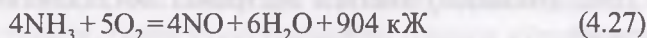


Учинчи реакция билан бир вақтда иккинчиси ҳам содир этилади, чунки  $\text{NO}_2$  барча миқдорини  $\text{HNO}_3$  га айлантириш мумкин. Барча реакциялар экзотермик реакциялардир.

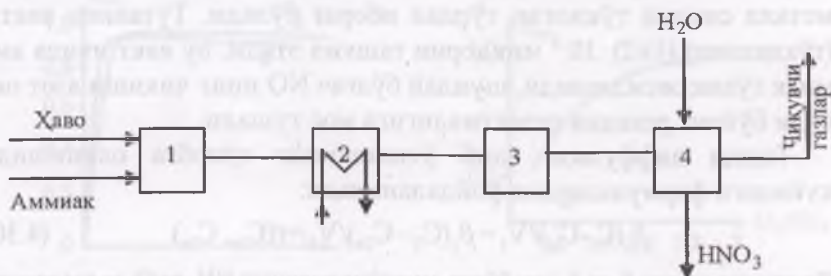
(4.24)–(4.26) кимёвий тенгламалардан келиб чиққан ҳолда функционал схема аммиакнинг оксидланиши, газларнинг кейинчалик совутилиши [(4.23) реакция юқори ҳароратда ўтади], азот оксидининг оксидланиши ҳамда ҳосил бўлувчи нитроз газларни сув билан абсорбциялаш тизимчаларини ўз ичига олади (4.40-расм). Азот кислотаси ишлаб чиқаришнинг КТТ-кимёвий технологик тизимини тузиш 5.2. бўлимда кўриб чиқилган эди.

Бу ерда биз ишлаб чиқариш айрим босқичларининг физик-кимёвий асосланишларига тўхталамиз.

**Аммиакнинг оксидланиши** – мураккаб қайтмас экзотермик каталитик реакциядир. Аммиак  $\text{N}_2$  ва  $\text{NO}$  гача оксидланади. Ўтиш икки мустақил стехиометрик тенгламалар оркали ифодаланади:



Катализатор сифатида платина ёки платинопалладийродийли қотишма қўлланади (Pt миқдори 81–92 %). Жараённинг ҳарорати

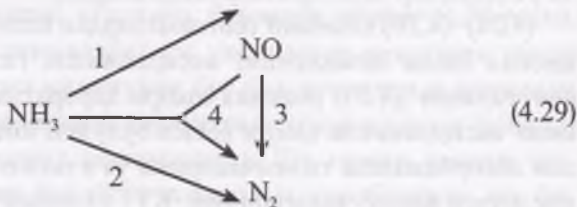


4.40-расм. Азот кислотаси ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси:

1 – аммиакни оксидланиши; 2 – газнинг совуши; 3 – азот оксидининг оксидланиши; 4 – абсорбция.

1100–1200 К. Бундай шароитларда азот оксиди  $N_2O$  амалда ҳосил бўлмайди. Экзотермик реакциянинг қайтар реакция бўлганлигидан (4.24) унинг мувозанати аммиакнинг оксидланиш ҳароратида чапга сурилган, шунингдек, азот диоксида мавжуд эмас.

Ўтиш (айланиш) схемаси стехиометрик тенгламалар (4.27)–(4.28) тизимидан фарқ қилади – аммиакнинг оксидланиш реакцияси тўртта хусусий реакцияларни (босқич) ўз ичига олади:



Бу схема экспериментал аниқланган: катализаторга фақат NO бериб,  $2NO = N_2 + O_2$  реакцияси бўйича азот ва кислороднинг ҳосил бўлиши кузатилди;  $NH_3$  ва NO аралашмасини бериб  $4NH_3 + 6NO = 5N_2 + 6H_2O$  реакцияси бўйича  $N_2$  ҳосил бўлиши кузатилди.

Ўтишнинг (айланиш) бундай схемаси азот оксиди чиқишининг ўтиш (айланиш) вақтига экстремал боғлиқлигини беради (4.41-расм).

Реакция тез содир бўлади, ташқи диффузион соҳада ўтади. Модомики, тезлик оқим ҳамда катализатор юзасидан иссиқлик ва модданинг олиб ўтилиши билан чекланар экан, унинг ички юзасини ривожлантиришга зарурият қолмайди ва у 0,09 мм диаметрли металл симдан тўқилган тўрдан иборат бўлади. Тутатиш вақти (тўқнашиш)  $(1+2) \cdot 10^{-4}$  миқдорни ташкил этади. Бу вақт ичида аммиак тўлиқ оксидланади, шундай бўлгач NO нинг чиқиши азот оксиди бўйича реакция селективлигига мос тушади.

Ташқи диффузион олиб ўтилишнинг ҳисобга олинишида куйидаги формулалардан фойдаланилади:

$$\beta_1(C_1 - C_{1n})/V_1 = \beta_2(C_2 - C_{2n})/V_2 = r(C_{1n}, C_{2n}) \quad (4.30)$$

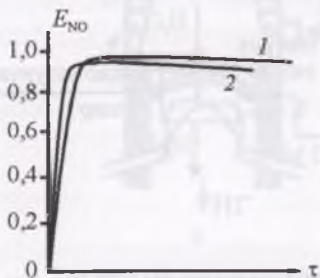
Индекслар қаерда  $\beta_1$  ва  $\beta_2$  кам бўлса, мувофиқ равишда  $NH_3$  ва  $O_2$  га тааллуқли бўлади;  $\beta_1, \beta_2$  – оқим ва юза орасидаги масса олиб ўтилиш коэффициентлари;  $C_1, C_2$  – оқимдаги концентрациялар;  $C_{1n}, C_{2n}$  – юзадаги концентрациялар;  $V_1 = 4, V_2 = 5$  – стехиометрик коэффициентлар;  $r(C_{1n}, C_{2n})$  – реакция тезлиги.

$\beta_1 = \beta_2$  деб ва стехиометрик нисбатни  $\text{NH}_3 : \text{O}_2 = 1:1,25$  деб тахминлаб, (4.29) орқали  $C_{1n} : C_{2n} = 1:1,25$  нисбатни ҳосил қиламиз.

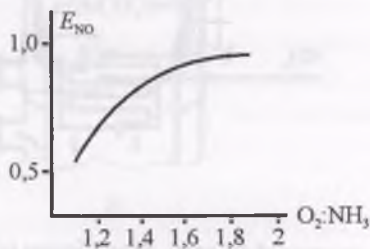
Ташқи диффузион соҳасида юзадаги дастлабки моддалар концентрацияси ҳажмидагига караганда анча кам. Юза олдида  $\text{NH}_3$  нинг миқдори кам бўлгани каби  $\text{O}_2$  ҳам оз бўлади. Бундай шароитларда оксидланиш асосан азотгача давом этади. Ундан аммиакни сиқиб чиқариш учун юза олдида кислороднинг ортиқча миқдори зарур бўлади. Шунда унинг оксидланиши янада чуқурроқ, яъни  $\text{NO}$  гача бўлиши мумкин.

$\text{O}_2:\text{NH}_3$  нисбатнинг оқимда  $\text{NO}$  чиқишига бўлган таъсири 4.42-расмда кўрсатилган.  $\text{O}_2:\text{NH}_3$  нисбатнинг 1:1,8 миқдордан ортиқ бўлишида жараённинг селективлиги амалда ўзгармайди. (4.29) формуладан  $C_{1n} = 0,01$   $C_1$  бўлишида юза устида 50 мартадан ортиқ миқдорда  $\text{O}_2$  бўлади ва бу реакциянинг юқори селективлигини таъминлайди.  $\text{O}_2:\text{NH}_3 = 1 : 1,8$  нисбат аммиак – ҳаво аралашмасида 10 %  $\text{NH}_3$  бўлишига жавоб бўлади ва ишлаб чиқаришда шундай қабул қилинган.

Босим (4.44) схемадаги 3 боскич бўйича  $\text{NO}$  ни  $\text{N}_2$  гача парчалашини кучайтиради ва шу билан максимал чиқиш миқдорини 0,1 МПа босимда 97–98 % гача, 0,7 МПа босимда эса 95–96 % гача максимал чиқишни камайтиради, гарчи ўтиш (айланиш) тезлиги кўпайганда ҳам (қ.4.41-расм). Мувофиқ равишда жараённинг 0,1 МПа бўлишида ўтказиш учун 8–12 та катализатор тўрлари, 0,7 МПа бўлишида эса 5–6 та катализатор тўр керак бўлади.

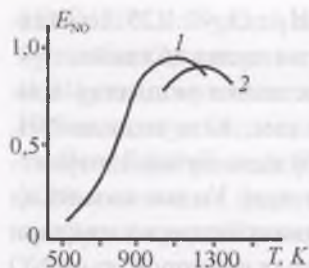


4.41-расм. Азот оксиди ҳосил бўлиши миқдорининг  $E_{\text{NO}}$  аммиакни 0,1 МПа (1) ва 0,7 МПа (2) босимларда оксидланишида туташуш вақтига  $\tau$  боғлиқлиги.



4.42-расм. Аммиакнинг оксидланишида  $\text{O}_2:\text{NH}_3$  нисбатнинг азот оксиди ҳосил бўлиш миқдорига  $E_{\text{NO}}$  таъсири.

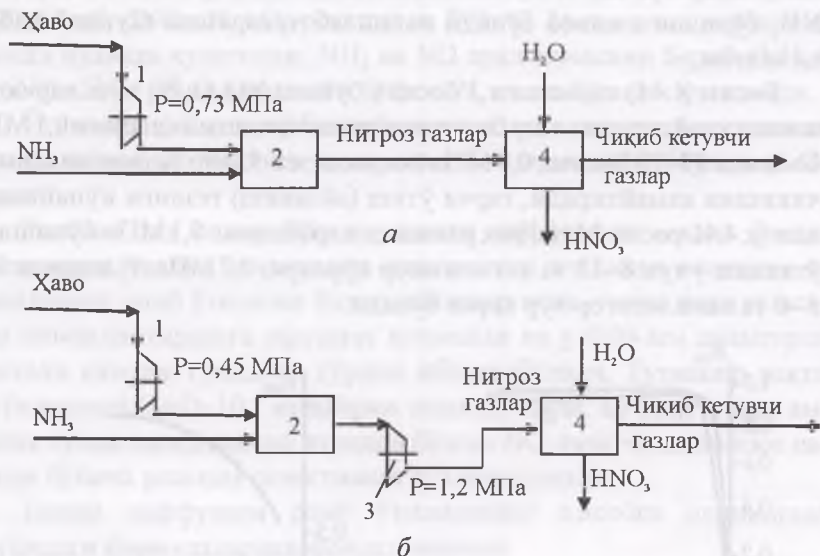




4.43-расм. Т ҳароратни аммиакни 0,1 МПа (1) ва 0,7 МПа (2) босимларда азот оксидининг ҳосил бўлиш микдорига  $E_{NO}$  таъсири.

Ҳароратнинг NO нинг максимал чиқишига таъсир этиш кўрсатиши экстримал хусусият касб этади (4.43-расм) ва босимнинг ортиши билан NO нинг максимал чиқиш ҳарорати кўтарилади.

Босим NO нинг чиқишини камайтирса ҳам, ишлаб чиқаришда жараён кўтарилган босим остида олиб борилади. Россияда ишлаб чиқилган жараённи 0,73 МПа босим остида олиб бориш кенг татбиқини топган (4.44, а-расм). Умуман олганда, кимёвий-технологик тизим (КТТ) оптималлик шартларидан танлаб олинган.

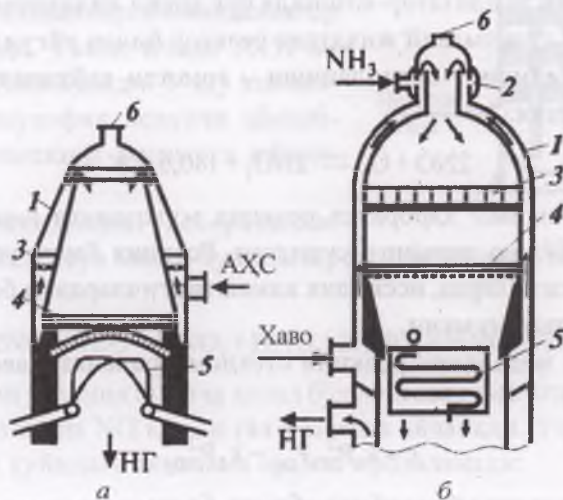


4.44-расм. Ягона босим (а) ва икки хил босимлар (б) остида азот кислотаси олиш схемаси:

1 – ҳаво компрессори; 2 – аммиакни оксидлаш тизими; 3 – нитроз газлар компрессори; 4 – нитроз газларнинг абсорбциялаш тизими.

Босимнинг ортиши абсорбцияни сезиларли равишда яхшилайдди [(4.25) реакция]: атмосфера босимида фойдаланувчи 6–8 та колонналар ўрнига 0,7 МПа босимда битта колоннанинг ўзи кифоядир. Бошқа ускуналарнинг ташқи ўлчамлари (габаритлари) ҳам кичраяди, ихчамлашади. Оширилган босимда энергетика бўйича ёшиқ бўлган энергетик технологияни яратиш мумкин. Охириги ишланмалар – икки хил босимдаги схемалардир (АК-72 тизим) (4.44, б-расм). Оксидлаш 0,4–0,45 МПа босим шароитида ўтказилади, сўнг нитроз газ абсорбция олдиан 1–1,2 МПа гача сиқилади. Кўринишидан ойдинки, асосий жараёнлар учун-оксидлаш ва абсорбциялаш-ягона босимда бўлганига қараганда яхшироқдир, гарчи бу нитроз газ билан ишловчи махсус компрессордан фойдаланишни талаб қилса ҳам (ягона босимда фақат ҳаво компрессоридан фойдаланилади).

4.45-расмда баён этилган икки тизим учун аммиакни оксидлаш реактори келтирилган. Тўр кўринишида бўлган катализатор 4 корпус ичига тортилган. Тўрларни осилиб қолишининг олди олини-



4.45-расм. Ягона босим тизими 0,73 МПа (а) ҳамда икки хил босим-АК-72 (б)

тизимларидаги аммиакни оксидлаш реактори:

- 1–корпус; 2–аралаштиргич; 3–таксимлаш жиҳози; 4–катализатор тўрлари; 5–утилизатор-козони; 6–портлаш мембранаси; АХА – аммиак-ҳаво аралашмаси; НГ – нитроз газлар.

ши учун уларнинг остига таянч панжара устига вертикал тарзда ҳалкалар ўрнатилган.

Аммиак чиқарувчи аралаштиргичга ёки ҳалқасимон тирқиш орқали бир маромда бериш орқали ҳаво билан аралаштирилади. Реакторнинг баланд конуссимон қисми оқимнинг реакторнинг кўндаланг кесими бўйлаб бир текисда ёйилиши учун хизмат қилади, тўрлар қавати жуда юпқа бўлиб, оқимни тўғрилай олмайди. Модомики, оқимнинг абсолют (мутлоқ) бир текисда бўлишини амалга ошириш қийин экан, бунда тўрларнинг кўпайтирилган – 10–12 сонидан фойдаланилади ва бунда босим 0,7 МПа бўлади.

Юқори ҳароратларда платина кўпинча  $PtO_2$  – оксиди кўринишида буғланади. Бунда йўқотишлар 0,16 г Pt/т  $HNO_3$  (1200 К ҳароратда)ни ташкил қилади. Платинани ушлаб қолиш учун тўрлар остидан  $CaO$  асосида тайёрланган ютгич солинади. Қайтмайдиган йўқотишлар 0,07 грамм Pt/т  $HNO_3$  микдоргача камаяди.

Аммиакнинг оксидланишидан сўнг ҳосил бўлувчи газларнинг иссиқлигидан утилизатор-қозонида буғ ҳосил қилинишида фойдаланилади. У тузилмавий жиҳатдан реактор билан уйғунлашган.

Азот оксидининг оксидланиши – гомоген қайтарилувчи экзотермик реакция:



400 К дан паст ҳароратда реакция мувозанати амалда тўлиқ  $NO_2$  ҳосил бўлиш тарафига сурилган. Реакция барча ускуналарда – қувурўтказгичларда, иссиқлик алмаштиргичларда ва бошқа аппаратларда ўтиши мумкин.

Кинетик моделнинг реакция стехиометриясига жавоб бериши аниқланган:

$$r = k_1 P_{NO}^2 P_{O_2} - k_2 P_{NO_2}^2 \quad (4.32)$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, босим реакцияни сезиларли тарзда тезлаштиради ва бу уни КТТ да кўтарилиш фойдаси ҳақида дарак беради. Шунинг учун, реакциянинг тугалланишида реакцион аралашманинг маълум вақт давомида тутиб турилишини таъминловчи ҳажмли аппарат бўлмиш оксидлаш ускунаси ўрнатилади.

4.46-расм. Азот кислотаси олиш реактори (абсорбцион колонна): 1 – тўрсимон тарселкалар; 2 – иссиқлик алмаштиргичлик элементлари; 3 – сачратгичлар.

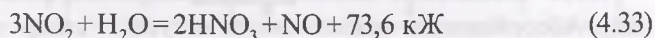
NO нинг оксидланиш реакцияси экзотермик реакциядир. Нитроз газ қўшимча равишда совутилиши зарур. Совутишда сув конденсатланади. Бунда ҳосил бўлувчи сув аммиакка бериладиган сувга қараганда 1,5 марта ортиқ бўлади. Конденсатланувчи сув нитроз газ билан ўзаро таъсирга киришиб, азот кислотасини ҳосил қилади. Газнинг сув билан туташуш вақтини камайтириш мақсадга мувофиқдир, шунинг учун махсус тезлаштирилган иссиқлик алмаштиргич-конденсатор қўлланилади. Унинг ичида 30 % ли кислота ҳосил бўлади. У шу концентрацияга мувофиқ келувчи абсорбцион колоннанинг кесимига юборилади.

#### Азот оксидининг абсорбцияси.

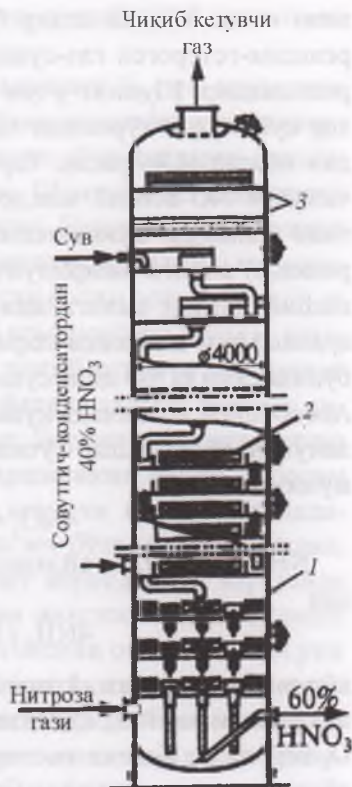
Азот диоксида сув билан қуйидаги реакция орқали ўзаро таъсирга киришади.



Биринчи реакция бўйича ҳосил бўлувчи азот кислотаси барқарор эмас ва тезликда NO қисми газ фазасига айланади. Умумий ҳолда абсорбция қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

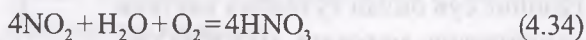


NO<sub>2</sub> нинг H<sub>2</sub>O билан ўзаро таъсири – жуда тез реакция, HNO<sub>3</sub> билан суюқликда ва NO<sub>2</sub> билан газда мувозанатга эришилади. NO нинг бундан кейинги оксидланиши (ҳам газли, ҳам суюқ фазаларда) секин ўтади. Унинг тугалланиши учун маълум вақт ҳамда NO

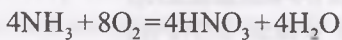




нинг оксидланиши содир бўладиган бўшлик зарур бўлади. (4.32) реакция-гетероген газ-суюқликка оид реакция, (4.30) эса гомоген реакциядир. Шунинг учун азот кислотаси ҳосил қилинувчи реактор қуйилувчи тўрсимон тарелкалари бўлган абсорбцион колоннадан иборат (4.46-расм). Тарелкалар ораларидаги бўшлик ажралиб чиқувчи NO асосий миқдорининг газ фазали оксидлагичи сифатида ишлайди. Суюқликнинг унча баланд бўлмаган қаватида (тарелкада) амалга оширилувчи барботаж газ билан жадал масса алмашинувнинг амалга оширилишини таъминлайди ва бунда у газ аралашмаси компонентлари ютилишига ёрдам бериб,  $\text{HNO}_3$  ҳосил бўлиши ҳамда NO нинг суюқ фазали оксидланишини таъминлайди. Абсорбцион колоннада қуйидагича брутто-тенглама орқали ифодаланувчи айланишлар–ўтишлар содир бўлади, деб ҳисобланиши мумкин:



$\text{NH}_3$  ни  $\text{HNO}_3$  га айланишининг қуйидаги умумий тенгламасидан



кўришиб турибдики, 1 ҳажм  $\text{NH}_3$  га 2 ҳажм кислород сарфланаяпти. Аммиакнинг оксидланиш босқичида ҳаво билан бирга 1,8 ҳажм  $\text{O}_2$  берилади. Қолган кислородни (ҳаво) абсорбцион колоннага NO тўлиқ оксидланиши учун берилиши лозим бўлади.

Ҳароратнинг пасайиши билан  $\text{NO}_2$  ютилиши яхшиланади. Реакция иссиқлигини олиб кетиш учун тарелкалар ичида сув циркуляцияланувчи текис ясси илонизисимон найчалар ўрнатилган.

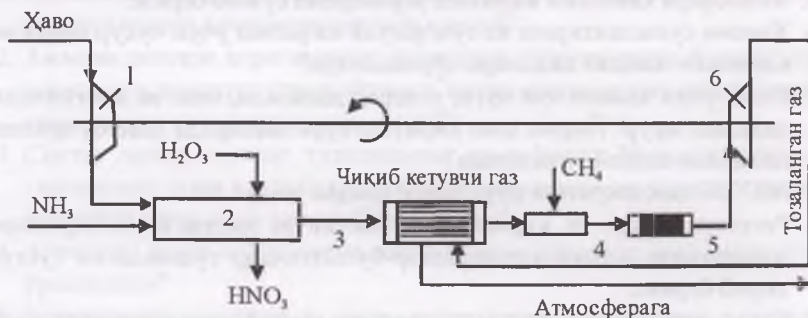
Босимнинг ортиши  $\text{NO}_2$  нинг ютилишига ва ҳосил бўлувчи кислотанинг концентрациясини 1 ат. босимда 47–49 % лик  $\text{HNO}_3$ , 7 ат. босимда 58 % лик, 11 ат. босимда 62 % гача концентрациядаги  $\text{HNO}_3$  кўпайишига ёрдам беради.

**Азот кислотаси ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим.** Абсорбциядан кейин чиқиб кетувчи газлар таркибида 0,1 % миқдордагача азот оксидларидан тозаланиши лозим. Атмосфера босими ва паст ҳароратда азот диоксидининг димери  $\text{N}_2\text{O}_4$  – қўнғир-сарғиш рангли газ ҳосил бўлади. Шунинг учун мўриқондан чиқадиган тозаланмаган нитроз гази «тулки думи» деган ном ол-

ган. Атмосфера ёгинлари азот оксидларни қамраб олиб, кислотали ёмғирларни ҳосил қилади.

Газларни азот оксидларидан тозалаш уларни  $N_2$  гача каталитик қайтариш орқали амалга оширилади. Қайтарувчи сифатида реактор-нейтрализаторнинг олдидан, абсорбциядан сўнг газларга дозаланувчи аммиак хизмат қилиши мумкин. Шунингдек, қайтарувчи ролини метан (табiiй газ) ўйнаши мумкин. Булардан охиргисидан энерготехнологик тизимни ташкил қилишда фойдаланиш мумкин.

Газлар абсорбциядан сўнг юқорилашган босим остида бўлади ва унинг қувватидан газ турбинасида ҳаво компрессори ҳаракат узатгичи учун фойдаланиш мумкин. Бироқ чиқиб кетувчи газларнинг энергияси турбинанинг ишчи жисми сифатида ҳавони тизимга кириш босимигача сиқиш учун етарли эмас. Биринчидан, аппаратлар ва қувур ўтказгичлардаги гидравлик қаршиликни енгишда босим йўқотишлари юзага келади ва чиқиб кетувчи газлар киришдагига қараганда бир мунча паст босимга эга бўлади. Иккинчидан, чиқиб кетаётган газнинг ҳажми зарурат кераклисига қараганда кам – кислороднинг деярли барча қисми маҳсулот ҳосил бўлиши учун сарфланади. Ишчи жисмнинг энергиясини ошириш учун уни иситиш лозим бўлади. Бунинг учун технологик тизимга энергетик узел бўлмиш табiiй газ горелкаси киритилади (4.47-расм). Юқори ҳарорат (1000–1050 K) азот оксидларининг палладийли катализатор устида нейтралланиши ўтказилишига, сўнгра эса компрессор билан бирга бир валга ўрнатиловчи турбинадаги тозаланган газ-



4.47-расм. Азот кислотаси ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим:

1 – компрессор; 2 – технологик аппаратлар; 3 – иссиқлик алмаштиргич;

4 – газ горелкаси; 5 – каталитик тозалаш реактори; 6 – газ турбинаси.

нинг босими ва ҳарорати қувватидан фойдаланишга имкон беради. Горелкага ёкилғи сарфлай туриб, ҳаво компрессори тизимида энергиянинг асосий истеъмолчиси учун ташқаридаги энергиядан фойдаланиш муаммосидан тўлиқ қутулиш мумкин.

Газдаги абсорбциядан кейин қолдик кислороднинг концентрацияси ҳамда табиий газ миқдори шундай тарзда танланадики, бунда газда горелкадан кейин етарли даражада метан бўлсин ва қайтарувчи атмосфера мавжуд бўлсин. Ушбу шартларга  $\text{CH}_4$  нинг 10 % ортиқча қисми ва  $\text{CH}_4: \text{O}_2 = 0,55$  нисбат жавоб беради. Каталитик тозаланишдан кейин азот оксидлари концентрацияси 0,1 % (ҳажм) дан 0,002-0,008 % (ҳажм) гача пасаяди.

Азот кислотаси ишлаб чиқариш реакторлар назарияси ва кимё-технологик тизимларнинг кўпгина низомларининг амалга оширилишига яхши мисол бўла олади.

### НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Атмосфера ҳавосидаги азотни боғлашнинг қандай турлари ва усуллари биласиз?
2. Кальций цианамиди қандай модда ва уни элементар азотни боғлашдаги аҳамиятини тушунтириб беринг.
3. Боғланган азот ишлаб чиқариш хом ашёларининг қандай турларини биласиз?
4. Ўзбекистон Республикасидаги боғланган азот ишлаб чиқарадиган қандай корхоналар бор?
5. Атмосфера ҳавосини ажратиш усуллари сўзлаб беринг.
6. Ҳавони суюқлантириш ва сўнгра уни ажратиш учун чуқур совуқлик олишнинг қандай цикллари қўлланилади?
7. Нима учун ҳавони сув буғи, углерод диоксиди, чанг ва ацетилендан тозалаш зарур? Йирик ҳаво ажратиш қурилмаларида ҳаво бу аралашмалардан қандай тозаланади?
8. АКТ-1Б ҳаво ажратиш қурилмаси қандай ишлайди?
9. Регенераторлар, бу қурилмадаги пастки ва юқориги ректификация миноралари, асосий кондензатор-буғлатгичлар тузилишини тушунтириб беринг.
10. Газ ва суюқлантирилган ҳолдаги газлар қандай сақланиши ва ташилиши ҳақида сўзлаб беринг.
11. Нима учун табиий ва йўлдош газлар аммиак ишлаб чиқаришда асосий хом ашё ҳисобланади?



12. Метан конверсиясининг асосий тенгламаларини ёзинг. Қайси реакциялар амалий қайтар реакциялар ҳисобланади? Метан конверсияси даражасига босим, температура ва  $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})}$  ёки  $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})} : \text{O}_2$  нисбатларининг таъсири қандай?
13.  $\text{CO}$  конверсияси жараёнига босим, температура ва  $\text{N}_2\text{O} : \text{SO}$  нисбатларининг таъсири қандай?
14.  $\text{CH}_4$  ва  $\text{CO}$  нинг конверсияси жараёнларида қандай катализаторлар ишлатилади?
15. Метаннинг бир босқичли буғ-кислородли конверсияси тасвирини тушунтириг. Жараённинг асосий параметрлари (босим, температура,  $\text{CH}_4 : \text{H}_2\text{O}_{(\text{буғ})} : \text{O}_2$ )ни айтиг.
16. Метаннинг икки босқичли буғли ва буғ-ҳаволи каталитик конверсияси қандай хусусиятларга эга? Бу жараённинг тасвирини тушунтириг ва жараённинг асосий параметрларини айтиг.
17. Газларни сиқишда ажралиб чиқадиган иссиқлик қандай олиб ташлашини тушунтириб беринг.
18. Нима учун йирик тонналик аммиак ишлаб чиқарувчи ҳозирги замон курилмаларида поршенли компрессорлар ўрнига марказдан кочмали компрессорлар ишлатилади?
19. Аммиак синтези жараёнининг тенгласини ёзинг, бу жараёнда босим ва температуранинг ролини тушунтириг.
20. Аммиак синтези катализаторларининг вазифаси қандай? Саноатда қандай катализаторлар қўлланилади? Аммиак синтези катализаторларининг таркибига қандай промотор (активатор)лар кирилади ва уларнинг вазифаси?
21. Каталитик заҳарлар нима, азот-водород аралашмасидаги уларнинг рухсат этилган концентрациялари қандай?
22. Аммиак синтези агрегатининг тасвирини тушунтириг. Катализатор зонасидаги температурани айтиг. Синтез минорасидан кейин газдаги аммиакнинг концентрацияси қандай?
23. Синтез минорасининг тузилишини таърифланг. Иссиқлик алмаштиргичнинг роли қандай, катализатор зонасидаги реакция иссиқлиги қандай ва нима учун чиқариб ташланади?
24. Агрегатда қайси мақсадларда циркуляцион компрессор ёки инжектор ўрнатилади?
25. Агрегатнинг назорати ва автоматлаштириш принципини тушунтириг.
26. Аммиак ишлаб чиқаришдаги техника хавфсизлиги асосий қоидалари нималардан иборат?



27. Азот кислотасининг хусусиятлари ҳақида гапириб беринг.
28. Аммиакни оксидлаш учун қандай катализаторлар ишлатилади?
29. Платина катализаторида аммиакни азот монооксидигача оксидлаш механизмини тушунтиринг.
30. Азот кислотасини атмосфера босими ва юкори босим остида ишлаб чиқаришда платинанинг йўқолиши нималардан иборат эканлигини тушунтиринг.
31. Азот монооксидини азот диоксидига оксидлаш реакциясини ёзинг. Бу реакциянинг тезлигига температура ва босимнинг таъсирини тушунтиринг.
32. Концентрланмаган азот кислота олишнинг қандай тасвирлари мавжуд? Уларнинг бир-биридан фарқи нимада?
33. Азот кислотаси ишлаб чиқаришда ташландиқ газларни тозалашнинг қандай усуллари қўлланилади?

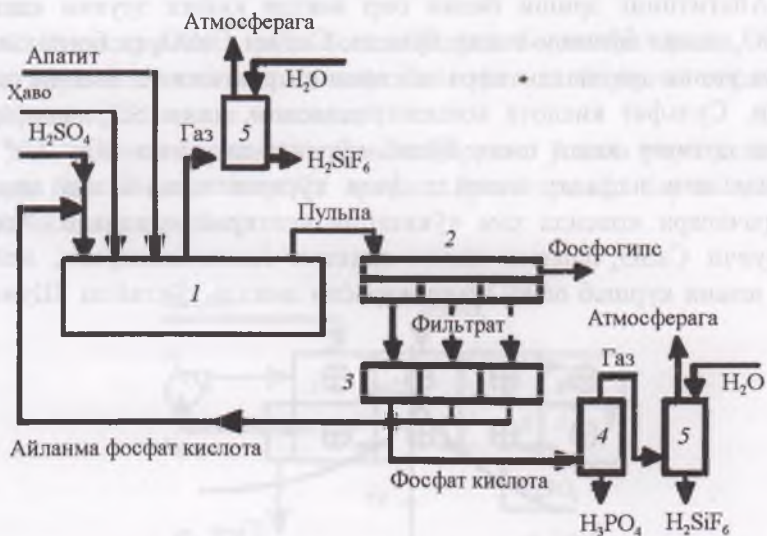
#### 4.9. ФОСФАТ КИСЛОТА ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

Фосфат кислота  $H_3PO_4$  концентрланган фосфор таркибли ўғитлар ишлаб чиқаришда муҳим оралиқ маҳсулот ҳисобланади. Бундан ташқари, фосфат кислотадан турли-туман техник тузлар, турлича фосфорорганик маҳсулотлар, шу жумладан, ярим ўтказгичлар, инсектицидлар, фаоллаштирилган кўмир (чўқиндисини йўқотиш ва сувни юмшатиш учун сульфокўмир), ионалмашиниш смолалари ишлаб чиқаришда ҳамда металлларда ҳимоя қопламалари пайдо қилишда фойдаланилади. Тозаланган ёки озикавий деб аталувчи  $H_3PO_4$  озик-овқат саноатида, ем концентратлари, фармацевтик препаратлар тайёрлашда қўлланилади.

Фосфатли хом ашё ўз таркибида рудалар – апатитлар ва фосфоритлар тутган ҳолда 3–5 % дан 25–30 % гача  $P_2O_5$  иборат мураккаб минераллар аралашмасини ҳосил қилади. Фосфорнинг асосий миқдори апатит гуруҳи минераллари таркибига киради. Уларнинг умумий формуласи  $3Ca(PO_4)_2 \cdot CaX$ , бунда X-фтор, хлор ёки гидроксил-ион бўлиши мумкин. Энг кенг тарқалганлардан фторапатитдир  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$  ёки  $Ca_5(PO_4)_3F$ . Уларнинг таркибидан фосфор минерал хом ашёни парчалаб олинади. Ҳозирги пайтда таркибида 25 % ортиқ миқдорда  $P_2O_5$  бўлган рудаларни кислота ёрдамида парчалаш усули кенг қўлланилади. Фосфат кислотаси

руданинг бевосита эришида, яъни фосфор бирикмалари экстракциясини тўғридан-тўғри чиқариб олишда ҳосил бўлади. Шу сабабли маҳсулотнинг номи экстракцион фосфор кислотаси (ЭФК) деб юритилади. Камрок миқдорда фосфор бирикмаларига эга бўлган рудалардан термик фосфат кислотаси олинади. Ушбу жараён табиий фосфатлар таркибидаги фосфорни кокс иштирокида юқори ҳароратларда қайтариш ва сўнг фосфордан  $H_3PO_4$  олишга асосланган.

**ЭФК ишлаб чиқарилишининг функционал схемаси.** Дастлабки хом ашё таркибининг мураккаблиги уни қайта ишланишининг технологик схемаларининг бир қатор вариантлари мавжудлигини келтириб чиқаради. Яхши тадқиқ этилган ишланмалардан бири апатитли концентратни сульфат кислотаси орқали парчалаш усули бўлиб, у таркибида 39 % га яқин миқдорда  $P_2O_5$  тугган хибин апатит – нефелин рудасини бойитиш орқали олинади. Унинг парчаланиши «суюклик-қаттик» – гетероген реакциядир.



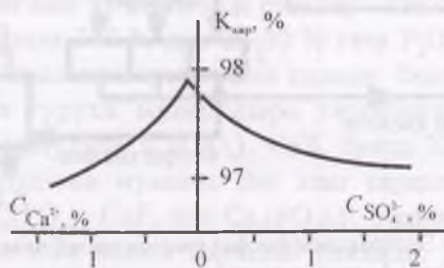
4.48-расм. Экстракцион фосфат кислота ишлаб чиқаришнинг функционал схемаси: 1 – апатит парчалаш реактори (экстрактор); 2 – вакуум-фильтр; 3 – фильтрат тўплагич; 4 – фосфат кислотани бўғлатиш колоннаси; 5 – газларни тозалаш тизими.



Са ва F аралашмалари – тезда реакторда ажралади. Биринчиси гипс ( $\text{CaSO}_4$ ) кўринишида чўкмага тушади, иккинчиси водород фтор  $\text{HF}$  кўринишида газ фазасига ўтади. Функционал схема (4.48-расм) майдаланган хом ашёни реакторда (экстракторларда) парчашни, қаттиқ чўкмани филтрлашни, фосфор кислотасини товар концентрациягача буғлатиш ва чиқиб кетувчи газларни тозалаш каби жараёнларни ўз ичига олади. Қаттиқ чиқинди «фосфогипс» деган номни олган. Чиқиб кетувчи газларни сув билан ювишда водород фторид кремнефторводород кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  кўринишида тутиб олинади.

**Апатитни сульфат кислотаси орқали парчалаш.** (4.34) реакция бўйича айланиш (ўтиш) тезлигига реакция маҳсулотлари –  $\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{P}_4^{3-}$  ионларнинг олиб кетилиши таъсир қилади, улар заррачалар юзасидан эритмага ўтиб, эритмадаги  $\text{Ca}^{2+}$  концентрацияси қанча кам бўлса, эриш тезлиги шунча катта бўлади.

Апатитнинг эриши билан бир вақтда қийин эрувчи қаттиқ  $\text{CaSO}_4$  ҳосил бўлиши содир бўлади.  $\text{Ca}^{2+}$  ни  $\text{CaSO}_4$  га боғланиши, яъни унинг эритмадан ажралиб чиқиши реакция тезлигини оширади. Сульфат кислота концентрациясини, яъни  $\text{SO}_4^{2-}$  ионларининг ортиши яхши омил бўлиб кўринса-да, аммо  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{Ca}^{2+}$  ни эритмадаги нафақат алоҳида фаза кўринишида, балки апатит заррачалари юзасида ҳам чўқишини келтириб чиқаради. Ҳосил бўлувчи  $\text{CaSO}_4$  пардаси аввал эришни секинлаштиради, кейин эса юзани қуршаб олиб, эриш жараёни амалда тўхтайди. Шунинг



4.49-расм. Фосфорни ажратиб олиш даражасининг  $K_{ажр}$   $\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{SO}_4^{2-}$  ионларининг орттиклик микдорига боғлиқлиги.

учун  $\text{CaSO}_4$  нинг шундай оптимал концентрацияси мавжудки, бунда фосфорни хом ашёдан чиқариб олиш даражаси максимал кийматда бўлади (4.49-расм). Шу билан реакторда  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концен-трациясининг катъий ушлаб турилиши ва реактор ҳажми бўйича бир хилда бўлишига катъий талаблар қўйилади.

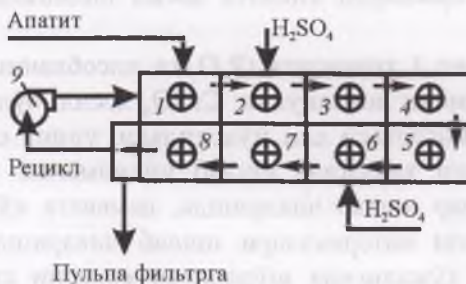
Парчалаш реактори реагентларнинг жадал ва бир-биридан оқиб ўтувчи равишда аралаштирилишини ҳар қайсиси секцияда алоҳида амалга оширувчи кетма-кетликда жойлашган секциялардан иборат. Унинг вариантларидан бири 4.50-расмда кўрсатилган. Аралашти-риш каттик ва суюқ фазага қатламланишнинг олдини олиши ло-зим.

Секцияларнинг биринчи ярмида асосан апатитнинг эриши со-дир бўлади. Қолган секциялар етиштирувчи каби ишлайди, улар-да  $\text{CaSO}_4$  кристаллари шаклланади. Охирги ва биринчи секциялар оралиғида жадал рецикл ташкил этилган (циркуляциялар сони 20 марта ва ундан ортиқ бўлади). Унинг вазифаси:

Реагентлар кириш зонасида локал ўта тўйинишларни бартараф этиш;

$\text{Ca}^{2+}$  ионларининг эриш бошланишида боғланишларини осон-лаштирувчи кристалланиш маркази сифатида биринчи секцияга  $\text{CaSO}_4$  кристалларини ўтказиш;

Хом ашёнинг эриши ва кристалларнинг ўсиши учун секция-ларда бир жинсли шароит яратиш (реакторнинг барча ҳажми бўйича аралаштириш).



4.50-расм. Апатитни парчалаш реакторининг (экстракторининг) схемаси: 1–8 – реактор секциялари; 9 – циркуляцияловчи насос; (+) – аралаштиргичлар.



$\text{SO}_4^{2-}$  ионларининг баланс концентрациясига эга бўлиши керак бўлганда, кейин эса  $\text{SO}_4^{2-}$  ионларининг бир озгина ортиқча миқдорда кристалларнинг шаклланиши лозим бўлганда, аввал эриш учун яхши, кулай шароит яратилиши учун, сульфат кислотанинг 4.48-расмда кўрсатилгани каби иккинчи ва олтинчи секцияларга тақсимланган ҳолда берилиши мақсадга мувофиқдир. Апатитнинг парчаланиш даражаси 97 % гача етади ва ундан ҳам ортиши мумкин ва бунда уларни филтрлаш орқали ажратиб олиниши енгиллаштирувчи йирик кристаллар ҳосил бўлади.

**Маҳсулот кўринишидаги фосфат кислотасининг ҳосил бўлиши**  $\text{CaSO}_4$  (фосфогипс) чўкмасининг ажралиши ва кислотани концентрлашни ўз ичига олади. Парчаланиш шартларига боғлиқ равишда  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (дигидрат) ёки  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  (яримгидрат) кристаллари ҳосил бўлади. Дигидрат жараёнда ҳарорат 343–353 К бўлиб, фосфат кислотасининг концентрацияси 25–35 % ( $\text{P}_2\text{O}_5$  га ҳисоблаганда) ташкил этади; яримгидратли жараёнда ушбу кўрсаткичлар 358–378 К ва 35–40 % атрофида бўлади.

Фосфогипс тасмали ёки карусел туридаги вакуум-филтрда ажратиб олинади. Ҳосил бўлган филтрат буғлатишга юборилади ва унинг натижасида кислотанинг концентрацияси  $\text{P}_2\text{O}_5$  га ҳисобланишида 52–54 % гача кўпаяди. Мана шу маҳсулот кўринишидаги кислотадир. Буғлатишда кислотадан  $\text{HF}$  кўринишидаги 80–90 % фтор чиқиб кетади. Реактордан ва буғлатиш узелидан чиқиб кетувчи фтор таркибли газлар тозалаш тизимларида крефнефторводород кислота ҳосил қилиниши билан ютилади.

Маҳсулотнинг 1 тоннасига ( $\text{P}_2\text{O}_5$ -га ҳисобланишида) 2,5 тоннадан ортиқ қийин ишланувчи  $\text{CaSO}_4$  ҳосил бўлади. У билан бирга сульфат кислотаси ҳам йўқотилади, унинг самарали санот регенерацияси ханузгача ишлаб чиқилмаган. Фосфогипсдан гипс боғловчилар ишлаб чиқаришда, цементга қўшимчалар сифатида, қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда фойдаланилади. Қишлоқ хўжалигида шўрланган ерларни гипслаштиришда қўлланилади. Фосфогипснинг катта қисми ағдарма-уюмлар кўринишида сақланади.

## HAZOPAT CAVOLLARI

1. Fosforli ўgитlar olishda qanday xom ashlarning turarlari ishlatiladi?
2. Fosforli ўgитlar qanday xususiyatlariga qarab guroxlarga buniadi?
3. Fosforli ўgитlarning guroxlarni kelting.
4. Fosforitlar qaelarda uchraydi?
5. Sekin zruvchan ўgитlarga misol kelting?
6. Fosforit unidan ўgит sifatida foydalaniish mumkinmi?
7. Qora-toғ fosforitining tarkibi.
8. Flotkoncentrat deb nimaqa aytiladi?
9. Fosforitlarda qanday aralashmalar uchraydi?

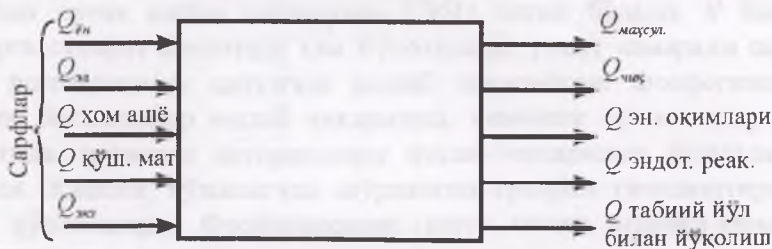
# У БОБ. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИ ТАҲЛИЛ (АНАЛИЗ) ҚИЛИШ

## 5.1. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИНГ ЭНЕРГЕТИК ВА ЭКСЕРГЕТИК САМАРАДОРЛИГИ

Иссиқлик фойдали иш коэффиценти. (КТС) энергетика оқимларининг таркиби 5.1-расмда кўрсатилган. КТС ни энергия билан таъминлаш манбалари: ёнилғи энергияси ( $Q_{ен}$ ), электр энергияси ( $Q_{эл}$ ), хом ашё иссиқлиги ( $Q_{хом}$ ) ва қўшимча материаллар иссиқлиги ( $Q_{мат}$ ) нинг элтувчи кириш оқимлари ҳамда экзотермик реакциялар ( $Q_{экз}$ ) дан иборат бўлади. Уларнинг умумий (суммар) микдори ёки энергия истеъмоли, сарфи  $Q_{сарф}$  билан белгиланади. Энергия системадан маҳсулотлар оқими ( $Q_{мах}$ ) ва ишлаб чиқариш чиқиндилари ( $Q_{чик}$ ) энергетика оқимлари ( $Q_{зо}$ ) билан чиқиб кетади, эндотермик реакциялар ( $Q_{энд}$ ) га сарфланади ва табиий йўл билан йўқолади ( $Q_{йук}$ ). Чиқаётган энергетика оқимлари ( $Q_{зо}$ ) нинг бир қисми ташки оқимлар (масалан, сув) алмашгич-утилизаторлари қизийдиган қозон-утилизаторларнинг буғи, турбиналарнинг ва электр генераторларнинг энергияси кўринишида фойдали ишлатилади. Ана шу нуқтаи назардан КТС нинг энергетик самарадорлиги иссиқлик фойдали иш коэффиценти – иссиқлик ФИК билан ифодаланади:

$$\eta_{ис} = Q_{эл} / Q_{сарф}.$$

Бундай таърифда ички зиддият мавжуд. Биринчидан, агар энергетика оқимлари сарфларнинг бир қисмини қоплаб, система ичида



5.1-расм. КТС энергетик оқимлар таркиби.

фойдаланиладиган бўлса, яъни  $Q_{\text{н}}=0$ , у ҳолда  $\eta_{\text{ис}}=0$  бўлади. Иккинчидан, агар энергетика оқимлари бутунлай энергия ишлаб чиқариш учун фойдаланиладиган бўлса, у ҳолда  $\eta_{\text{ис}}<100\%$ . Биринчиси ҳам, иккинчиси ҳам мантикий эмас.

Фойдали иш коэффициентини фойдали сарфланган иссиқликнинг кимё-технология системасига киритилган умумий (суммар) микдорига нисбати тарзида ифодалаш тўғривроқ бўлар эди:

$$\eta_{\text{ис}} = \frac{Q_{\text{фой}} + \alpha Q_{\text{икэр}}}{BQ_{\text{ен}} + Q_{\text{экз}} + Q_{\text{н}}} \quad (5.1)$$

бунда:  $Q_{\text{фой}}$  – технологик мақсадларга фойдали сарфланган иссиқлик; у КТС элементларидаги физикавий (жисмоний) ва кимёвий жараёнларни амалга ошириш учун назарий сарфлаш шартидан аниқланади;  $\alpha$  – КТС элементлари (қозон-утилизаторлар) да ҳосил бўладиган, система ташқарисида ва ичида сарфланадиган иккиламчи энергия ресурслари улуши;  $Q_{\text{икэр}}$  – КТС энергетика элементида ҳосил бўладиган иккиламчи энергия ресурслари иссиқлиги;  $B$  – КТС нинг технологик эҳтиёжларига сарфланадиган ёнилғи;  $Q_{\text{ен}}$  – ёнилғининг ёниш иссиқлиги;  $Q_{\text{экз}}$  – КТС даги кимёвий ва физикавий айланишларда ҳосил бўладиган иссиқлик;  $Q_{\text{н}}$  – энергия элтувчилар (сув буғи, иссиқ сув ва ҳ.к.) орқали КТС га келадиган иссиқлик.

ФИК ни бундай ифодалаш анча мантикий, лекин бунинг ҳам камчиликлари йўқ эмас. Маҳсулот муайян потенциал (салоҳият)га эга бўлади, маҳсулотни истеъмол қилганда ана шу потенциалдан фойдаланилади (5.1) ифода маҳсулот .потенциали  $Q_{\text{фой}}$  фақат унинг ҳосил бўлиши учун кетадиган сарфлар билангина белгиланмайди. Агар маҳсулот фақат экзотермик реакция ўтиши натижасида ҳосил бўладиган бўлса, унга кетадиган сарфлар камроқ бўлади, шунинг учун маҳсулотнинг истеъмол қийматидан қатъи назар  $Q_{\text{к}}$  камаяди. Хулоса – иссиқлик ФИК ҳар доим эндотермик реакциядагига нисбатан экзотермик реакцияда ёмонроқ бўлади.

**Тўлиқ энергия фойдали иш коэффициенти.** Атроф-муҳитга нисбатан ҳар қандай оқимнинг иссиқлик потенциалини аниқлаш учун бошқача ёндашув, яъни фақат оқимнинг иссиқлик характеристикасига эмас, балки унинг кимёвий ташкил этувчиси – оқимнинг кимёвий энергияси (1 кимё) га ҳам асосланган ёндашувдан фойдала-



нилади. Шундай қилиб, тўлиқ энергия учун I ифодаси қуйидагича бўлади.

$$I = I_q + I_{\text{кимё}} \quad (5.2)$$

I аниқланадиган атроф-муҳит параметрлари жумласига ундаги барқарор моддаларнинг кимёвий потенциали ва температура  $T_0$  киради. Шундай муҳитга нисбатан оқимнинг потенциали унинг тўлиқ энергиясини белгилайди. Бундай ҳолда босим ҳисобга олинмайди, чунки КТС атроф-муҳитдан изоляция қилинган эмас.

Тўлиқ энергиянинг ташкил этувчиларини аниқлаймиз.

Оқимнинг тўлиқ энергияси модданинг  $T_0$  дан токи оқимнинг ҳолати температураси  $T$  гача қизиш иссиқлигидир. Умумий ҳолда солиштирма иссиқлик энергияси  $i_q$  нинг ҳисоби қуйидагича:

$$i_q = \int_{T_0}^{T_{\text{суьукл}}} c_{p,\text{кат}} dt + \Delta H_{\text{суьукл}} + \int_{T_{\text{суьукл}}}^{T_{\text{қайнаш}}} c_{p,\text{суьук}} dt + \Delta H_{\text{қайнаш}} c_{p,g} dt \quad (5.3)$$

Бу тенгламада модданинг қизиши натижасида юз бериши мумкин бўлган барча фаза ўтишлари – суьукланиш ва буғланиш (қайнаш) омиллари ҳисобга олинган. Агар  $(T_0 - T)$  интервалда бирон-бир фазанинг мавжуд бўлиши мумкин бўлмаса, тегишли кўрсаткич (5.3) тенгламадан чиқариб ташланади.

Оқимнинг кимёвий энергияси  $I_{\text{кимё}}$  (солиштирма –  $i_{\text{кимё}}$ ) – атроф-муҳитдаги энергетик жиҳатдан тўлиқ кадрсизланган бирикмалардан технологик оқимлар компонентларининг ҳосил бўлиш энергияси. Булар «ҳисоб боши» моддалари деб аталади. Ернинг турли қобикларида ётган бундай моддаларга мисоллар келтирамиз: атмосферада –  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$ ; гидросферада –  $H_2O$  ва эрийдиган тузлар тарзидаги деярли барча элементлар; литосферада – кучсиз эрийдиган юқори оксидлар (қум, кварцит ва ҳ.к.).

«Ҳисоб боши» моддаларининг рўйхати доимо тўлдириб турилади ва ҳозирча мутахассисларнинг асосланган келишув махсули ҳисобланади. Кимёвий энергия оқим компонентлари ( $\Delta H_{\text{ҳос}}$ ) ва ҳисоб боши моддалари ( $\Delta H_{\text{ҳос}}^{CT}$ ) ҳосил бўлиш энтальпиясидан ҳисобланади. Бунда ҳисоб боши моддасининг тегишли муҳит ( $\Delta H_{\text{рп}}$ ) да эриши ҳисобга олинади (узлуксиз суьултирилган эритма ҳосил бўлади):

$$i_{\text{кимс}} = \Delta H_{\text{юс}} - \Delta_{\text{юс}}^{CT} + \Delta H_{\text{эр}} \quad (5.4)$$

Оқимнинг кимёвий энергиясини модаларнинг энергетик жиҳатдан кадрсизланган бирикмаларга девальвациялаш энергияси сифатида таърифлаш мумкин. Бу эса (5.2)-(5.4) ифодаларга мос келади. Уларда атроф-муҳитнинг қабул қилинган ҳолатига нисбатан исталган оқимнинг потенциали ёки атроф-муҳит ҳолатига ўтганда оқим ажратиш мумкин бўлган энергия (иссиқлик) тўғри ҳисобга олинади.

Оқимларнинг тўлиқ энергияси бўйича жараённинг самарадорлиги – тўлиқ энергиянинг фойдали иш коэффициентини  $\eta_{\text{эн}}$  – фойдали оқимларнинг тўлиқ энергияси  $\Sigma I_{\text{тўл}}$  ва системадан чиқётган барча оқимлар энергияси ( $\Sigma I_{\text{сарф}}$ ) суммалари нисбати каби белгиланади:

$$\eta_{\text{эн}} = \Sigma I_{\text{тўл}} / \Sigma I_{\text{сарф}}$$

бунда  $\Sigma I_{\text{сарф}} = \Sigma I_{\text{кир}} = \Sigma I_{\text{чик}} -$  энергетик балансдан келиб чиқади.

Қуйида кокс батареясида чиқётган оқимларнинг кимёвий ва иссиқлик энергиялари қийматлари келтирилган.

	$I_{\text{кимс}}$ , МВт·соат	$I_q$ , МВт·соат
Кокс .....	11.5	0.62
Кокс гази .....	4.51	0.02
Кокс гази совитилганидан кейинги буғ- сув аралашмаси	0	0.54
Коксни (ўчириш)даги йўқотишлар.....	0	0.62
Кокс гази йўқотишлари.....	0.42	0
Иссиқлик йўқотишлари .....	0	0.3
Жами .....		18.08

Қўриб чиқилган мисолда кокс маҳсулот сифатида, кокс гази эса энергия ишлаб чиқаришда фойдаланиладиган модда сифатида фойдали ишлатиладиган оқим ҳисобланади. Уларнинг тўлиқ (фойдали) энергияси  $= \Sigma I_{\text{тўл}} = 16.2$  МВт·соат ва  $\eta_{\text{эн}} = 0.9$ . Агар кокс газини ёққанда ажраладиган энергияни ҳисобга олсак,  $Q_{\text{эн}} = 4.51 + 0.02 = 4.53$  МВт·соат бўлади, у ҳолда ҳосил бўладиган иссиқлик ФИК, яъни  $\eta_{\text{ис}} = 0.25$ . Демак, ишлаб чиқаришнинг энергетик самарадорлигини  $\eta_{\text{эн}}$  бўйича ҳисоблаш анча маъқул ҳисобланади.

**Эксергетик фойдали иш коэффициенти.** Оқимнинг тўлиқ энергиясини баҳолаш ҳали ундан фойдаланиш мумкинлигини кўрсатмайди. Фараз қилайлик, системадан ҳажми  $100 \text{ м}^3$  ва температураси  $40^\circ\text{C}$  бўлган сув оқими чиқмоқда. Унинг иссиқлик энергияси  $I_q = 8.4 \cdot 10^6 \text{ кДж}$  ( $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ). Бу иссиқликдан рационал фойдаланиш кийин: ҳаракатлантириш кучи кичик бўлганлиги туфайли ИЭМ (ТЭЦ) учун сувни қиздириш жуда кўп иссиқлик алмашгичларни талаб қилади, хоналарни иситиш учун эса оқимнинг температураси паст (у техник шартларга тўғри келмайди, иссиқхоналарни иситиш учун ярайди ҳолос). Бошқа системадан 3 атм босимдаги  $130^\circ\text{C}$  температурали,  $18 \text{ м}^3$  микдордаги сув чиқмоқда, дейлик. Унинг иссиқлик энергияси ҳам деярли ўшандай –  $I_q = 8.3 \cdot 10^6 \text{ кДж}$ , лекин бу ҳолда ундан фойдаланиш вариантлари кўп: юқори температурали, 2 атм босимли технологик буғ тайёрлаб, кейин ундан турли мақсадларда фойдаланиш мумкин. Кўриб чиқилган оқимларнинг иссиқликлари тенг бўлишига қарамай, уларнинг энергетик қиймати турлича. Оқимнинг ишга яроқлилиқ потенциали таърифидан фойдаланиб, оқимнинг тўлиқ энергияси бўйича уни баҳолаш ғоясини давом эттирамиз.

КТС ни ишчи жисм ёки иш манбаи сифатида ҳамда атроф-муҳитни берк система, деб қараб чиқамиз. Ички энергия, энтропия, босим, температура ва иш жисми ҳажмини бошланғич ҳолатда  $U_0, S_0, P_0, T_0, V_0$  деб, шу параметрларни сўнгги ҳолатда  $U_1, S_1, P_1, T_1, V_1$  деб белгилаймиз. Атроф-муҳит параметрлари учун шу белгиларнинг ўзидан фойдаланамиз, лекин пастки индексни «0» (ноль) деб оламиз. Атроф-муҳит температураси  $T_0$  ва  $P_0$  ўзгармай қолади.

Бундай системада ишчи жисмнинг ҳолати атроф-муҳит билан мувозанатда бўлади, яъни  $U_0 = U_{0_0} = U_0$ ;  $S_0 = S_{0_0} = S_0$ ;  $P_0 = P_0$ ;  $T_0 = T_0$ .

Берк система ўзининг ички энергияси камайиши ҳисобига, яъни ишчи жисм ва атроф-муҳитнинг ички энергияси бошланғич ҳолатдан сўнгги ҳолатга ўзгариши ҳисобига  $A$  ишни бажара олади:

$$A = (U_1 - U_0) + (U_{0_1} - U_{0_0}) \quad (5.5)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунига мувофиқ, муҳитнинг ички энергияси ўзгариши ( $U_{0_1} - U_{0_0}$ ) унинг устидаги иш  $A_0$  (муҳит-

нинг босимига қарши иш) ва унга берилган иссиқлик  $Q_0$  ҳисобига юз беради:

$$U_{0_0} + U_{0_6} = Q_0 + A_0 \quad (5.6)$$

Иш жисми ўз босими ва ҳажми ўзгариши ҳисобига атроф-муҳит устида иш  $A_0$  бажаради:

$$A_0 = P_0 V_0 - P_6 V_6 = P_0 V_0 - P_6 V_6 \quad (5.7)$$

Атроф-муҳитнинг температураси  $T_0$  доимий бўлганлиги учун муҳитга берилган иссиқлик унинг энтропиясини ўзгартиради, яъни

$$Q_0 = T_0(S_{0_0} - S_{0_6}).$$

Изоляцияланган системадаги қайтар жараён унинг энтропиясини ўзгартирмайди ( $S + S_0 = \text{const}$ ). Шунинг учун изоляцияланган системада «ишчи муҳит-атроф-муҳит»

$$\begin{aligned} S_{0_6} + S_6 + S_0 &= S_{0_0} + S_0 + S_0 \text{ ёки } Q_0 = T_0(S_{0_0} - S_{0_6}) = \\ &= T_0(S_6 - S_0) = T_0(S_6 - S_{0_6}) \end{aligned} \quad (5.8)$$

Агар изоляцияланган системанинг ҳолати мувозанатлашса, изоляцияланган системадаги максимал иш  $A_{\text{мак}}$  қайтар жараёнлар ўтаётганда бажарилади. Ифодалар (5.6)-(5.8) ни (5.5) тенгламага қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$A_{\text{мак}} = (U_6 - U_0) - (P_0 V_0 - P_6 V_6) - T_0(S_6 - S_0) = (U_6 + P_6 V_6) - (U_0 + P_0 V_0) - T_0(S_6 - S_0)$$

Биринчи икки қавс ичидаги ифода бошланғич ( $H_6$ ) ва сўнгги ( $H_0 = H_0$ ) ҳолатлардаги иш жисмининг энтальпияси:

$$A_{\text{мак}} = (H_6 - H_0) - T_0(S_6 - S_0) = E$$

Олим З. Рантнинг таклифи билан 1956 йилдан бери бу қиймат «эксергия» деб юритилади. Унинг физикавий маъноси шундаки, жисм атроф-муҳит ҳолатига ўтаётганда бажара оладиган максимал иш, яъни эксергия амалда ишчи жисмнинг потенциали (имконияти) ҳисобланади. Ҳисоблашлар учун солиштирма эксергия е дан фойдаланилади. У кимёвий  $e_k$  ва физикавий  $e_\phi$  ташкил этувчиларни (температура ва босим ўзгаришларини) ўз ичига олади:

$$e = e_k + e_\phi \quad (5.9)$$



Биринчи қўшилувчи ( $e_1$ ) ишчи жисм моддаларининг ҳисоб боши моддасида девальвацияланиши кимёвий энергияси (5.4-тенглама) ва бу ўтишнинг энтропияси ўзгариши орқали ҳисобланади.

Иккинчи қўшилувчи, яъни физикавий ташкил этувчи ( $e_2$ ) да эн- тальпиянинг ўзгариши температура ўзгариши билан юз беради:

$$\Delta H = \bar{c}_p (T - T_0),$$

Энтропиянинг ўзгариши эса  $T$  ва  $p$  ўзгариши билан юз беради:

$$dS = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dP}{P}$$

$$\Delta S = S_6(T, P) - S_0(T_0, P_0) = \int_{T_0}^T \frac{c_p}{T} dT - R \int_{P_0}^P \frac{dP}{P} \approx \bar{c}_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0}$$

Эксергиянинг физикавий ташкил этувчилари:

$$e_{\phi} = \bar{c}_p (T - T_0) - T_0 \left( \bar{c}_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right)$$

Формулалар (5.9), (5.4) ва (5.10) лардан фойдаланиб, кириш ( $E_{кир}$ ) ва чиқиш ( $E_{чик}$ ) оқимларининг эксергиясини ҳисоблаш мумкин. Эксергетика ФИК қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta_3 = \sum E_{тўл} / \sum E_{кир}$$

Эксергия (максимал иш) даги йўқотишлар ўтаётган жараёнлар- нинг қайтмаслиги ( $D$ ), системанинг атроф-муҳит билан таъсирла- шуви туфайли бўладиган йўқотишлар ва оқимлар йўқотишлари ( $E_{йўк}$ ) оқибатида рўй беради, яъни

$$\eta_3 = (E_{кир} - D - E_{йўк}) / E_{кир}$$

КТС даги жараёнларнинг қайтмаслиги туфайли рўй берадиган (ички) йўқотишлар оқимларнинг гидравлик қаршилиги, охириги температуралар фарқидаги иссиқлик алмашилиши, концентра- цияларнинг охириги фарқларидаги масса алмашинуви ва ҳ.к. билан боғлиқ. Табiiй (ташки) йўқотишлар жумласига иссиқлик изоляция- си орқали юз берадиган эксергия йўқотишлари, ёниш маҳсулотлари билан, ҳаво совутгичларидан кейин ҳаво билан, иссиқлик алмашгич- лардан кейин сув билан, кимёвий жараёндаги қўшимча маҳсулотлар билан системадан чиқиб кетадиган йўқотишлар киради.

Куйидаги аппаратларда жараёнларнинг кайтмаслиги туфайли юз берадиган эксергия йўқотишлари манбалари билан чуқуррок танишамиз.

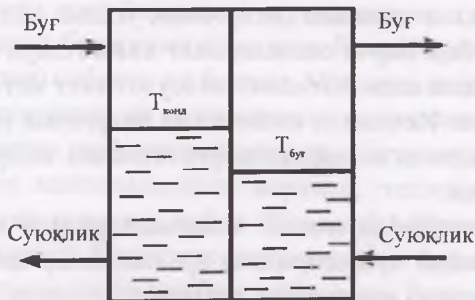
**Иссиқлик алмашгич.** Ҳисоблашларни мураккаблаштирмаслик учун «қайнатгич-конденсатор» типидagi иссиқлик алмашгични танлаймиз (5.2-расм). Ундаги иссиқлик алмашинувчи сиртлар  $T_{\text{буғ}}$  ва  $T_{\text{конд}}$  нинг ҳар бир томонида температура доимий ҳисобланади. Оқимларнинг температураси ўзгармаслиги туфайли йўқотишлар фақат энтропияга боғлиқ бўлиши мумкин. Солиштирма энтропиянинг таърифи  $dS = c_p dT/T$  оқимнинг энтропияси ифодасини ҳосил қиламиз:  $dS = Gc_p dT/T$ . Бундаги  $Gc_p = Q$  тенглик оқимнинг иссиқлик сизимини билдиради. Ушбу  $T = \text{const}$  бўлганлиги учун  $\Delta S = Q(T - T_0)/T$  бўлади. Жараёнларнинг кайтмаслиги туфайли йўқотишлар

$$D = \Delta S_{\text{конд}} - \Delta S_{\text{буғ}} \quad (5.11)$$

(қайнатгичда иссиқлик истеъмол қилинади, конденсаторда иссиқлик ажралади). Тенглама (5.11) га  $\Delta S$  учун олинган ифодани қўйиб, куйидагини ҳосил қиламиз:

$$D = Q \left( \frac{T_{\text{конд}} - T_0}{T_{\text{конд}}} \right) - Q \left( \frac{T_{\text{буғ}} - T_0}{T_{\text{буғ}}} \right) = Q \left( \frac{T_0}{T_{\text{буғ}}} - \frac{T_0}{T_{\text{конд}}} \right)$$

Ушбу  $T_{\text{конд}} \neq T_{\text{буғ}}$  – кайтмас жараён бўлганлиги туфайли, бу жараённи юқори температурада қайнайдиган ( $T_{\text{буғ}}$  ва  $T_{\text{конд}}$ , катта бўлган) суюқликларга татбиқ қилиб, йўқотишларни камайтириш мумкин.



5.2-расм. «Қайнатгич-конденсатор» типидagi иссиқлик алмашгич.

Аппарат нуктаи назаридан бу унчалик фойдали эмас, чунки бундай жараёнларни амалга ошириш учун қиммат турадиган юқори температурали жихозлар ва ҳаракатлантириш кучи кичик бўлганлиги туфайли катта иссиқлик алмашилиш сирти талаб қилинади:

$$\Delta T = T_{\text{конд}} - T_{\text{бўғ}}$$

Биз қабул қилган шартлар бўйича кўриб чиқилаётган иссиқлик алмашгичда иссиқлик йўқотишлари, чунки бутун конденсация иссиқлиги буғланишга сарфланади, шунинг учун бу системанинг иссиқлик (термик) ФИК 100% га яқин бўлади. Бу келтирилган мисол ФИК ни баҳолаш усулининг муҳимлигини яна бир марта тасдиқлайди.

**Реактор.** Изотермик шартлар ( $I = \text{const}$ ) дан келиб чиқиб, фақат эксергиянинг кимёвий ташкил этувчиси  $e_x = \Delta H - T_0 \Delta S_x$  ни кўриб чиқамиз. Энтропиянинг ўзгариши  $\Delta S_x$  ни Гиббс энергияси таърифи  $\Delta G = \Delta H - T \Delta S_x$  дан топамиз, бундан  $\Delta S_x = (\Delta H - \Delta G) / T$  ва

$$e_x = \Delta H - T_0 \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{T_0}{T} \Delta G + \Delta H \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right)$$

Гиббс энергияси системанинг кимёвий мувозанатдан оғишини ифодалайди, шунинг учун кимёвий реактордаги йўқотишлар

$$D = (T_0 / T) \Delta G.$$

Равшанки, йўқотишларни камайтириш учун юқори температурали жараёнларни ( $T$  юқори) ўтказиш фойдали; бу жараёнлар мувозанат ( $\Delta G$  кичик) яқинида ўтгани маъқул. Шунини айтиш лозимки, аппарат нуктаи назаридан бу усул фойдали эмас.

*КТС ни таҳлил қилишда эксергетик усулни қўллашнинг ўзига хос томонлари бор.* Барча оқимларнинг қийматлари иссиқлик бирликларида ифодаланади. Кимёвий маҳсулотнинг истеъмол қиймати албатта бошқача. Истеъмол қиймати ва энергетик потенциал бири-бирига мос келадиган иссиқлик энергетикасида эксергетик усул энг кўп қўлланилади.

Кимёвий технология ишлаб чиқаришларидаги физик-кимёвий чеклашлар туфайли суюлтирилган аралашмалар қайта ишланади. Азот кислотаси ишлаб чиқаришда аммиак-ҳаво аралашмасининг чамаси 30 фоизи сарфланади, аммиак синтезида эса азот-водород ара-

лашмасининг чамаси 20 фоизигина реакцияда қатнашади. Кўпгина углеводородларнинг парциал оксидланиш жараёнларида аралашманинг 90% дан ортиғи айланишларда қатнашмайди. Бирок, шунга қарамай, оқимнинг бу қисми система орқали ўтишда қизиб ва совиб, эксергетик йўқотишларни кўпайтиради. Шунинг учун бундай жараёнларнинг эксергетик ФИК паст –  $\text{HNO}_3$  ишлаб чиқаришда  $\text{NH}_3$  деярли тўлиқ маҳсулотга айланса ҳам  $\eta_s = 22\%$ . КТС эксергетик таҳлилида бу омилни ҳисобга олиш, натижаларни мутлақлаштириб юбормаслик лозим. Лекин кимё ишлаб чиқаришидаги исталган тур таҳлил учун эксергетик таҳлил (анализ) барибир фойдали.

Баъзан, бир хил хом ашёдан муайян (у ёки бу) маҳсулот олиш учун усул танлашда (бир неча муқобил усуллар ичидан) узил-кесил қарор қабул қилишда эксергетик таҳлил усулидан фойдаланилади. Усулларнинг ичида  $\eta$ , кўрсаткич каттароқ бўлган усулда хом ашё, энергия ва қўшимча материаллар потенциалидан самаралироқ фойдаланилади.

## 5.2. Энерготехнологик система

Кимё-технологик жараённинг турли босқичларида зарур бўладиган энергия миқдори унинг режими билан белгиланади. Жараённинг босқичлари орасида энергияни регенерациялаш ва оқимларнинг потенциалидан жараённинг ўзида фойдаланиш йўли билан бу энергия сарфларини камайтириш мумкин. Бироқ энергия сарфларининг ўрнини қоплаш ҳар доим ҳам мумкин бўлавермайди. Бунга бир неча сабаб бор.

Ўтаётган барча жараёнларнинг термодинамик қайтмаслиги туфайли энергиянинг бир қисми йўқолади. Бу ҳолда энергия диссипацияси (тарқалиши) албатта юз беради. Масалан, аппаратлар ва трубопроводлар (қувурлар) да оқимларнинг гидравлик қаршилигини енгишга бўладиган сарфлар қайтмасдир. Системага юқори потенциалли энергия келтирилишига қарамай, технологик жараёнда паст потенциалли оқимлар пайдо бўлади (5.1-бўлимдаги эксергетик таҳлилга қаранг). Иссиқлик (энергия) нинг бир қисми умумий иссиқлик йўқотишлари билан бирга йўқолади. Бундай йўқотишлар жумласига температура режимини тутиб туриш воситаси сифати-



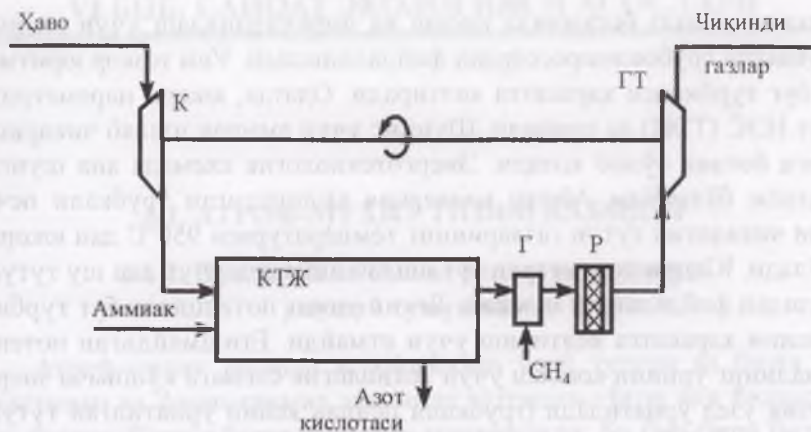
даги бугланиш (масалан, совитгич-градирня ва шунга ўхшаш системаларда), фойдаланилмайдиган иссиқлик оқимларининг чиқиб кетиши, изоляция орқали табиий иссиқлик йўқолиши ва ҳ.к. ни киритиш мумкин. Агар қолган оқимларнинг энергетик (иссиқлик) потенциалидан фойдаланилган тақдирда ҳам бу йўқотишларнинг ўрнини бутунлай қоплаб бўлмайди, қўшимча энергия истеъмоли албатта зарур бўлади.

Технологик системада етишмаётган энергияни ёнилғи истеъмол қилиш йўли билан ишлаб чиқариш мумкин. Бунинг учун системага энергетика узелини киритиш зарур бўлади.

Технологик режимни тутиб туриш ва КТС нинг фаолиятини таъминлаш мақсадида қайтмас йўқотишларнинг ўрнини қоплаш учун ёнилғи истеъмол қилиб, энергия ишлаб чиқарадиган энергетика узелини ўз ичига оладиган кимё-технологик система *энерготехнологик система* деб аталади.

Бундай система ташқаридан энергия олмайди, яъни энергетика жиҳатидан мустақил (автоном). Келтириладиган ёнилғидан етишмаётган энергия ишлаб чиқарувчи энергетика узели КТС нинг кичик системаси ҳисобланади. Энерготехнологик системага иккита характерли (классик) мисол келтирамиз.

1 мисол. Ҳозирги замон азот кислотаси ишлаб чиқаришдаги компонентлардан бири – ҳаво компрессорда босим остида қисилади ва технологик аппаратларга йўналади. Барча айланишлар (ўзгаришлар) босқичларидан ўтгандан кейин ундан амалда фақат азот ва чиқиб кетувчи газ сифатида қолдиқ кислород қолади. Унинг босими анча паст бўлади. Бу чиқиб кетувчи газнинг потенциали дастлабки ҳавони қисиш учун кетган сарфларнинг ўрнини қоплашга етарли бўлмайди (лекин уни қисман қоплаш учун ишлатса бўлади). Турбинанинг ишчи жисми сифатида чиқиб кетувчи газдан фойдаланиш учун унинг температурасини ошириш керак. Бунинг учун чиқиб кетувчи газ линиясига ёнилғи – табиий газ берилади, у уни ёндиради. Ана шу энергетик узел бўлади (5.3-расм). Лекин бу узелнинг вазифаси фақат энергетик таъминот эмас, балки технологик таъминот ҳамдир: газни азот оксидлари қолдиғидан тозалаш учун уни бироз қиздириб юборади. Бироз ортиқча метандан фойдаланиб, чиқиб кетувчи газда тикловчи (қайтарувчи) атмосфера ҳосил қилинади.

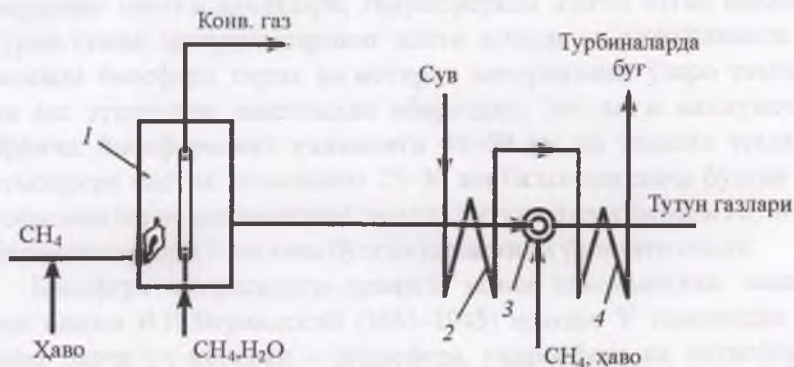


5.3-расм. Азот кислота ишлаб чиқаришида энерготехнологик система:

Р – тозалаш реактори, ГТ – газли турбина, к – қозон-утилизатор; КТЖ – кимёвий технологик жараён; Г – горелка.

Шунда тозалаш реакторидаги катализаторда азот оксидлари азотга тозаланadi. Тозалаш реакторидан ўтган газнинг потенциали газ турбинаси ёрдамида ҳаво компрессорини ҳаракатлантириш учун етарли бўлади. Турбинадан кейин тозаланган газ бевосита чиқариш қувурига йўналтирилиши мумкин.

2-мисол. Аммиак ишлаб чиқаришдаги энерготехнологик схеманинг тузилиши 5.4-расмда кўрсатилган. Азот-водород аралаш-



5.4-расм. Аммиак ишлаб чиқаришдаги энерготехнологик схема:

1 – метанни конверсиялайдиган трубкали печь; 2 – қозон-утилизатор; 3 – горелка; 4 – буг киздиргич.

масини синтез боскичида қисиш ва циркуляциялаш учун юқори қувватли трубокомпрессордан фойдаланилади. Уни тезкор юритма – буғ турбинаси ҳаракатга келтиради. Одатда, юқори параметрли буғ ИЭС (ТЭЦ) да олинади. Шунинг учун аммиак ишлаб чиқариш унга боғлиқ бўлиб қолади. Энерготехнологик схемада ана шунга эҳтиёж бўлмайди. Метан конверсия қилинадиган трубкали печдан чиқадиган тутун газларининг температураси 950°C дан юқори бўлади. Юқори параметрли буғ ишлаб чиқариш учун ана шу тутун газидан фойдаланиш мумкин. Лекин унинг потенциали буғ турбинасини ҳаракатга келтириш учун етмайди. Етишмайдиган потенциалнинг ўрнини қоплаш учун технологик схемага қўшимча энергетик узел ўрнатилади (трубкали печдан кейин ўрнатилган тутун газоходида қўшимча микдорда ёнилғи ёқилади). Метанни иккинчи буғ-ҳаво конверсиялашдан кейинги технологик газ иссиқлигидан ҳам фойдаланилади. Ташқаридан энергия истеъмол қилмаслик учун технологик газ иссиқлиги тутун газлари иссиқлиги ва энергетик узел сифатида қўшимча горелка иссиқлиги етарли бўлади. Ёнилғи истеъмол қилинган, аммиак ишлаб чиқариш энергия жиҳатдан мустақил (автоном) бўлиб қолади.

### 6.1. АТРОФ-МУҲИТ ТИЗИМ КАБИДИР

#### 6.1.1. Экология ва саноат экологияси ҳақида умумий тушунчалар

Атроф-муҳит деганда атрофимизни ўраб турган ва бизга ўз ҳаётимиз ва фаолиятимиз давомида тўғридан-тўғри ёки билвосита боғлиқ бўлган барча нарсалар тушунилади. Бу бир-бири билан ўзаро боғлиқ бўлган табиий ва инсон томонидан яратилган объектлар ва ҳодисалар, шу жумладан кимёвий, биологик ва ижтимоий ҳодисалардан иборат бутун бир тизимдир. Кенг маънода атроф-муҳит деганда бизнинг сайёрамиз ва унинг биосфераси ва космик бўшлиғи тушунилиши лозим ва улар бизга ўз таъсирини ўтказмай қолмайди. Бироқ инсон билан коинотнинг ҳақиқатдан мавжуд бўлган ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда, етарлича ва асосланган ҳолда атроф-муҳит деганда фақат ер пўстлоғи ва биосферанинг тушунилиши етарли ва мақсадга мувофиқдир.

**Биосфера** – Ер қобиғи бўлиб, унда қуруқлик, ер пўстлоғи, атмосферанинг пастки қаватлари, гидросферани ишғол этган ниҳоятда турли-туман организмларнинг ҳаёти кечади ва ривожланади. Ўз асосида биосфера тирик ва нотирик материянинг ўзаро таъсирини акс эттирувчи воқеликдан иборатдир. Энг янги маълумотлар бўйича, биосферанинг қалинлиги 40–50 км ни ташкил этади. У атмосфера пастки қисмининг 25–30 км баландликкача бўлган масофасини (озон қатламигача), амалда бутун гидросферани ва литосферанинг юқори 5 км гача бўлган қатламини ўз ичига олади.

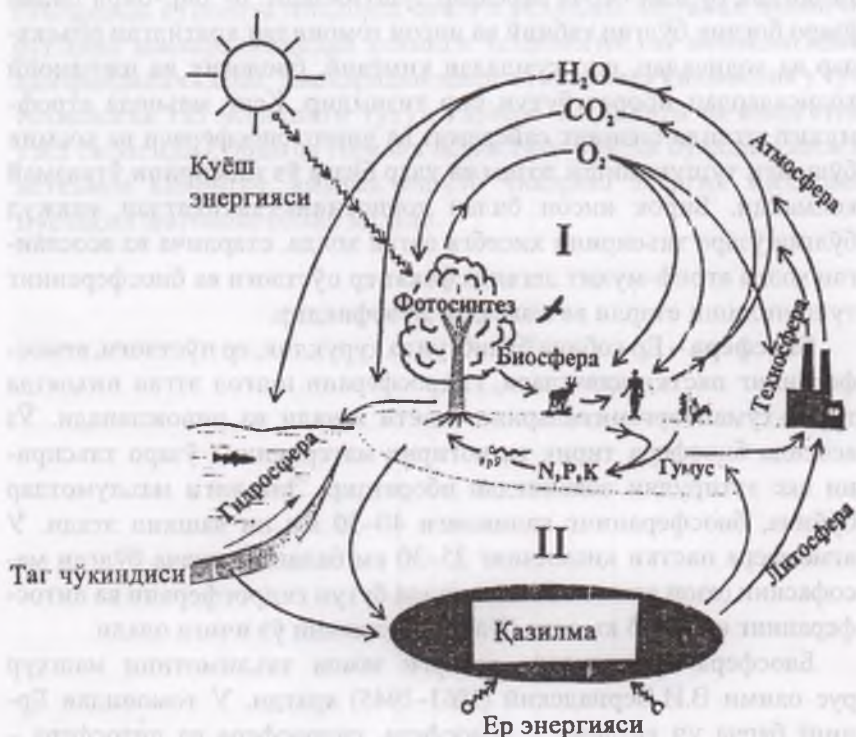
Биосфера тўғрисидаги ҳозирги замон таълимотини машҳур рус олими В.И.Вернадский (1863–1945) яратди. У томонидан Ернинг барча уч қатлами – атмосфера, гидросфера ва литосфера – бир бутун ҳолда тирик моддалар билан боғлиқлиги ва улар сайёра кўринишини шакллантириш, ўзгартириш билан таъсир кўрсатиши



исботланди. Биосфера тўғрисидаги таълимотга биноан барча қисмлари бир-бири билан ҳамбарчас боғланган табиатга бир бутун тизим сифатида қаралиши лозим.

Биосферанинг асосий динамик мувозанати бўлиб моддалар алмашинуви ва энергиянинг бир турдан бошқа турга ўтиши хизмат қилади. Алмашинув моддаларнинг алмашинув ва ҳаракати жараёнларининг йиғиндисидан ташкил топади (сувнинг, кислород, углерод, азот, минерал моддаларнинг Ерда айланиши). 6.1-расмда кислород, углерод икки оксиди ва сувнинг циркуляциялиниш схемаси кўрсатилган.

Тирик мавжудотлар кислород ютиб,  $\text{CO}_2$  ва  $\text{H}_2\text{O}$  ажратиб чиқаради. Тирик мавжудотларнинг бошқа чиқитлари ва уларнинг ўзлари



6.1-расм. Айрим моддаларнинг экотизимда айланиш схемаси. I – кичик (биологик) моддаларнинг айланиши; II – катта (геологик) моддаларнинг айланиши.

хам ҳаёти тугаганидан сўнг хусусий организмлар мавжудлигининг интихоси сифатида Ер юзасида қолади ва Ер пўстлоғида тўпланади. Ёпик тизимда моддаларнинг бундай бир йўналишдаги ҳаракати барқарор бирикмаларнинг ҳосил бўлишига ва охир-оқибатда барча кўринишдаги ўзгаришларнинг тўхташига, термодинамик мувозанатга олиб келиши керак.

Аммо Ер Қуёш энергияси кўринишидаги жуда катта қувватга эга бўлган ташқи таъминланишга эга ва бу Ердаги моддалар алмашинуви жараёнларининг сўниб қолишига йўл бермайди.

Биосферанинг пайдо бўлиши тарихида ерда атроф ўсимликларнинг пайдо бўлиши, Қуёш энергиясини тутиш ва минерал моддалардан органик моддани синтез қилишга қодирлиги ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлади. Фотосинтез В.И.Вернадскийгача аслида биологик жараён бўлиб кўрсатилган, яъни Қуёшнинг нурли энергиясини тутиш йўли орқали ҳаётга мадад бериш жараёнидир. У фотосинтезга мувофиқ Ернинг бутун кўриниши ўзгаришини кўрсатди. Кўрсатилган моддаларнинг туташган ҳаракати – уларнинг фотосинтез жараёни орқали айланиши 6.1-расмда кўрсатилган.

Ҳамма тирик организмлар ва ўсимликлардан органик ва ноорганик боғланишлар Ер юзасига ва тупроғига тушгач, микроорганизм ва бошқа тирик жонзотлар билан қайта ишланади, масалан, тупроқ қатламидаги куртлар билан гумус номли ўсимликларга зарур бўлган элементларни етказиб беришни таъминлайди. 6.1-расмда таниқли ўғитлар асосида фақат N, P ва K белгиланган. Ўсимликлар ҳаёти табиатда ва тупроқ орқали моддаларнинг айланишини тўхтатиб қўйди.

Ернинг тирик моддасининг умумий оғирлиги бир неча 100 млн. тонналар билан ҳисобланади ва 500 минг ўсимликлар ва 1,5 млн ҳайвонлар турларини ўз ичига олади. Ўйланишича, микроорганизмларнинг биомассаси кўплаб млрд. тоннага етмоқда. Тирик моддаларнинг йиллик кўпайиши фотосинтез ҳисобига  $8,8 \cdot 10^{11}$  т га тенг.

Моддаларнинг биологик айланиши ёки кичик айланиши деб – ўсимликлар, микроорганизмлар, ҳайвонлар ва бошқа тирик организмлар орасида моддаларнинг айланма циркуляцияси деб аталади, яъни Қуёш энергияси билан қўллаб-қувватлаб турувчи Ердаги тирик моддаларнинг тавсифланишидир.

Кичик айланма бўйича моддаларнинг тўлиқ ҳажми вақти шу модданинг оғирлиги ва цикл бўйлаб жараён боришининг интенсивлигига боғлиқ ва бир неча 100 йилга баҳоланмоқда.

Кичик айланишдан ташқари каттаси ҳам мавжуд, биологик айланиш. Моддаларнинг бир қисми Ернинг ер ости қатламига тушади (денгизларнинг сув ости ажралиши орқали ёки бошқа йўл билан), турли хил минерал ва органик боғланишларнинг пайдо бўлиши билан аста ўзгариш содир бўлади. Биологик айланаларнинг жараёнлари асосан Ернинг ички энергияси унинг актив ядроси билан таъминлаб туради. Шу энергия моддаларнинг Ер юзига чиқишига ёрдам беради. Шу билан моддаларнинг катта айланиши тугатилади. У млн. йилни эгаллайди.

6.1-расмда айланишнинг моддаси ва элементларнинг ҳаммаси кўрсатилмаган. Моддаларнинг айланиши Ернинг узок эволюцияси натижасида юзага келади. Табиатнинг юзага келган буюк мувозанати таркибий системалар – гидросфера, атмосфера, литосфера, биосфера ва уларнинг қисмлари орасида нормал мувозанатни таъминлаб беради.

Расмдаги схемада кўрсатилганидек, одам ҳамма тирик организмлар орасида ажратиб қўйилган. Бошқа тирик организмларни шартли равишда пасив деса бўлади, яъни улар ўзларининг борлигини, ҳаётини ва қайта ишлаб чиқаришни таъминлаб туриш учун истеъмол қилишади. Инсон бошқа тирик организмлардан ўзининг биосферадаги актив фаолияти билан ажралади. У ўзининг мавжудлигини, қулайликларини таъминлаш, ўсаётган моддий ҳаётини ва интеллектуал ривожланишини, эhtiёжини кондириши зарур. Одамзот табиат ресурсларини фаол ишлатмоқда – саноатни яратмоқда, қишлоқ хўжалигини, инфраструктурани ривожлантирмоқда.

Бутун мавжудлиги мобайнида, одам ўз фаолияти билан табиатнинг Буюк Мувозанатига таъсир кўрсатмоқда. Ҳозир инсонни аралаштириш шунчалик катта бўлдики, яна бир моддаларнинг глобал харақатини, солиштирилаётган биологик айланишини табиат оқимлари билан ажратса бўлади. 6.1-расмда саноат орқали кўрсатилган. Шу оқим ҳали тўхтатиб қўйилмаган.

Мувозанатнинг ўзгариши бутун тирик нарсаларга ҳалокатли таъсир қилиши мумкин, лекин аккумуляцияланиши мумкин ва



айни бир вақт ўтиши билан глобал хусусиятга эга бўлган ҳалокатли оқибатларга олиб келиши мумкин. Инсоният узоқ вақт давомида табиатга етказилган жароҳатларни ўзи даволайди ва табиий бойликлар тугатилиши мумкин эмаслигига таянган. Ҳар бир янгиланган табиий ресурсларга энергия манбаи ва турли хил ресурсларнинг механик йиғиндисига эмас, балки бир бутунга кўра келиш керак. Табиий муҳитга янги амалий муносабатда бўлиш талаби, инсонни ўраб турувчи ғоя шундан иборат.

Тирик организмларнинг мавжудлиги шароитларини ўрганувчи, уларнинг бир-бирлари ва муҳит билан ўзаро алоқасини тадқиқ қилувчиси фан – экология деб аталади. Экология сўзи грекчадан олиниб, *arcos* – уй ва *logos* – фанни билдиради. Ушбу термин биринчи марта 1866 йилда биолог-дарвинист Э.Геккел томонидан ишлатилган.

Илмий фан сифатида экология асрдан ҳам катта тарихга эга. Мунтазам экологик изланишлар, сайёрамизда ҳаётнинг ривожланиш тарихи бир вақтнинг ўзида экологик муносабатлар тарихи бўлгани ҳолда фақат XX асрдан бошланади. Инсон томонидан экологик мувозанат экин ерлари ва яйловлар барпо этиш учун ўрмонларни йўқотиш бошланган даврданоқ бузила бошланди, аммо бу бузишлар маҳаллий хусусият касб этиб, Ер юзасидаги барча жонзотлар учун глобал асоратлар пайдо қилмаган. Инсоният жамияти ривожланишининг ҳар қайси босқичида инсоннинг табиатга бўлган таъсири ишлаб чиқариш кучларининг ҳолати билан белгиланган; у айниқса машинага оид технология пайдо бўлиши билан орта борди ва илмий-техника инқилоби даврида ўзининг максимумига эришди.

Ишлаб чиқариш ривожининг табиатга кўрсатадиган салбий таъсири уч бош аспектга олиб келади: табиий ресурсларнинг саёзлашуви, атроф-муҳитнинг ифлосланиши ва экологик мувозанатнинг бузилиши, буларнинг асорати эса инсонларнинг яшаш шароитини ёмонлаштиради. Икки қарама-қаршилик аниқ ва равшан кўринади: бир томондан инсоннинг гуллаб-яшнаши йўлида табиат сақланиб қолиниши лозим, иккинчи томондан эса – табиат муҳитдан жадал равишда фойдаланишсиз инсоннинг гуллаб-яшнаши мумкин эмас. Ҳозирги замон ривожланиш даражасида ишлаб чиқариш



кучларининг ўсиш даражаси бизнинг имкониятларни нафақат кўпайтиради, балки табиий ресурсларнинг потенциални пасайтириш билан уларни камайтиради. Шунинг учун инсоният эришишни хошлаётган мақсадларни танлаб ола туриб, уларнинг натижаларини жамиятнинг иқтисодий юксалиш кўрсаткичлари, унинг ижтимоий ривожланиши бўйича ва табиий ресурсларнинг иш потенциални сақлаган ҳолда аввалдан кўра билиш лозим.

1968 йил Парижда эколог-олимларнинг учрашуви бўлиб ўтди. Унда биринчи бор атроф-муҳит ифлосланишининг асоратлари ва бунда илму фан, ишлаб чиқариш ва сиёсатнинг биосфера ҳолати бўйича масъулияти масалалари кун тартибига кўйилди. Стокгольмда БМТнинг 1972 йили бўлиб ўтган конференцияси 26 тамойилни ўз ичига олувчи декларацияни қабул қилди. Унга кўра барча давлатлар ўз фаолиятларида табиатни асраш ва табиий ресурслардан оқилона фойдаланишга қаратилган тадбирларида ушбу тамойиллардан раҳбарий кўрсатмалар олишлари зарурлиги қайд этилди. Ушбу конференцияда 5 июнь «Умумжаҳон Атроф-муҳит муҳофазаси куни» деб эълон қилинди.

Ҳозирги пайтда техник тараққиёт тайёрлаётган глобал ҳалокатни башорат қилувчиларда камчиликлар мавжуд эмас. Содир бўлиши мумкин бўлган экологик инқирозни инсоннинг табиий муҳитни янгиловчи ва тикловчи табиий биотик циклларни чуқур тушуна билишга асосланган ақл билан иш тутиши даф этиши мумкин.

Шунинг учун экологияда табиатда тирик моддаларнинг мавжудлиги тўғрисидаги илм каби йўналиш ҳосил бўлган, бу – инсоннинг хўжалик фаолияти объектларининг (корхона, шаҳар, қишлоқ хўжалиги, гидротехника иншоотлари ва ҳоказо) атроф-муҳит билан ўзаро таъсирини, ўзаро боғлиқлигини ўрганувчи умумий экология қисми сифатидаги саноат экологияси йўналишидир. Инсон фаолиятининг табиатга кўрсатадиган таъсир ҳажми шу даражага бориб етдики, ташкил этувчи сифатида инсон томонидан юзага келган техносферани ажратиб кўрсатиш мумкин. Саноат экологиясини ўрганувчи фан сифатида техносфера вужудга келди. Бу эса бутун экосфера элементи каби бўлган, гидросфера, атмосфера, литосфера, биосфера ва техносферани ўз ичига олади.

### 6.1.2. Табиий ресурсларнинг истеъмол кўламлари

Ҳозирги замон илмий-техника тараққиёти табиий ресурсларни истеъмол қилиш суръатларининг доимий тарзда тезлашиб бориши ва ишлаб чиқаришнинг ривожланиши билан боғлиқ.

Қадимги одамга ўзининг барча ҳаётий эҳтиёжларини қондириш учун 18 та, XVIII асрда – 28 та, XIX асрда – 47 та, XX асрнинг бошида – 59 та кимёвий элементлар ва уларнинг бирикмалари зарур эди.

Ҳозирда 100 га яқин элемент ва уларнинг бирикмаларидан фойдаланилмоқда.

Ҳар йили ер остидан ҳозирги замон ишлаб чиқариш даражасида 100 млрд.т. турли-туман тоғ жинслари казиб чиқарилади. XX асрнинг охирига бориб бу миқдор 600 млрд тоннагача кўпайди. Айниқса тез суръатлар билан минерал хом ашёдан фойдаланиш ўсиб бормоқда. Агар собиқ иттифоқда 1960 йилда минерал хом ашё ҳиссасига истеъмол қилинувчи дастлабки материал ва маҳсулотларнинг 50 % тўғри келган бўлса, ҳозирда эса ушбу хом ашё мутлоқ устун турувчи хом ашёга айланди. АҚШда 1940 йилдан бутун инсоният томонидан ҳозиргача ишлатилиб келинганидан ҳам кўп минерал хом ашё ишлаб чиқаришга сарфланган.

Фойдали қазилмалардан фойдаланиш суръатларининг ўсиши давом этиб бормоқда. Охириги йигирма йилда нефт истеъмоли 4 мартага ортди. Худди шунингдек, темир рудалари, фосфатлар ва бошқа минераллар билан ҳам шундай ҳолат содир бўлмоқда.

Фойдали қазилмаларнинг 200 кўринишидан 30 тасидан энг кўп фойдаланилмоқда. Бироқ казиб чиқариш ва қайта ишлов бериш технологияларининг тараққий этмагани сабабдан металлларнинг деярли ярми ва кимё хом ашёсининг учдан бири йўқотилмоқда. Умуман олганда «хом ашё – мақсадли маҳсулот» технологик занжиридан тўғри чиқарилиш камдан-кам ҳолларда 10 % дан ортади, яъни табиий хом ашёнинг ҳар бир тоннасида фақат 100 кг фойдали равишда ишлатилади ва 900 кг гача турлича чиқиндилар ҳосил бўлади.

Хом ашё ресурслари истеъмол қилинишининг юзага келган ҳолати чиқиндилар ҳажмининг тўхтатиб бўлмас даражадаги ўсишига олиб боради. Уларнинг катта миқдори чанг-газ

чиқиндиси кўрнишида атмосферага ҳамда окувчи сувлар билан бирга сув хавзаларига тушади, бу эса атроф-муҳит ҳолатига жуда катта салбий таъсир кўрсатади. Сайёраимиз атмосферасига ҳар йили 300 млн. т. дан ортик углерод оксиди, 50 млн. т. дан ортик углеводородлар, 200 млн. т. га яқин углерод диоксиди, 53 млн. т. азот оксидлари, 200–250 млн. т. турли хил аэрозоллар, 120 млн. т. кул чиқиндилари кўшилади. Ҳаммадан ҳам кўп атмосферани иссиқлик энергетикаси, қора ва рангли металлургия, кимё саноати ифлослантиради.

Жуда тез равишда қаттиқ чиқиндилар тўпланиш ҳажми кўпайиб борапти. АҚШда қаттиқ чиқиндиларнинг йиллик чиқариб ташланиш миқдори 4,5 млрд. т. га етмоқда, шу жумладан, саноат чиқиндилари – 1 млрд. т; ЕЭС мамлакатларида – 7,2 млрд.т, Японияда – 1,3 млрд.т, Россияда МДХ мамлакатлари билан кўшиб ҳисобланганда иссиқлик энергетикаси кул-шлак чиқиндилари 1980 йилда 100 млн. т, 1990 йилда эса 140–150 млн.т. дан ошиб кетди.

Саноат айланмасига ҳозирда юқори эҳтиёж талаблари қўйилаётган янгидан-янги фойдали қазилмалар кириб бормоқда. Нефт кўп йиллар давомида фақат ёқилғи сифатида ишлатиб келинган эди, сўнг эса кимё саноатида кенг равишда қўлланила бошлади, эндиликда эса – оксил моддалар олишда ҳам ундан фойдаланилмоқда.

Металлар, айниқса, нодир металлар истеъмол қилиниши кенгайди.

Инсон учун фойдали қазилмаларни қазиб чиқаришнинг потенциал доираси – ер шарининг бир неча километр қалинликдаги уст қисмидир, ваҳоланки ер қурраси ўз ҳаётининг миллиард йиллари давомида, минерал ресурсларнинг улкан захирасини яратди. Ҳозирча уларнинг ҳаммасидан фойдаланишга имконият йўқ. 10–20 км чуқурликда ер пўстлоғининг ўртача кимёвий таркиби аниқланган. Ун икки элемент умумий тарзда 99,29 % ни ташкил этади. Ер пўстлоғида энг кўп тарқалган элементлар – кислород ва кремнийдир; саноат аҳамиятига эга бўлган бошқа қимматли элементлар нисбатан катта миқдорга эга эмас.

Қуйида ер пўстлоғининг 10–20 км чуқурликдаги ўртача кимёвий таркиби келтирилган. [% да (мас)]:



Кислород .....	49,13
Кремний .....	26,00
Алюминий .....	7,45
Темир .....	4,20
Кальций .....	3,25
Натрий .....	2,40
Калий .....	2,35
Магний .....	2,35
Водород .....	1,00
Титан .....	0,61
Углерод .....	0,35
Хлор .....	0,20
Қолган элементлар .....	0,71

Табиий ресурсларни 3 гуруҳга бўлиш мумкин: амалда янгиланмайдиган, узок келажакда янгитдан ҳосил бўлувчи ва нисбатан тез янгиланувчи. Аввалги икки гуруҳ – фойдали қазилмалардир. Янгитдан тез ҳосил бўлувчи ресурслардан фарқли равишда фойдали қазилмалар – табиатнинг «муддатли хазинаси»дир. Улардан фақат бир марта фойдаланиш мумкин, кейин улар йўқоладилар.

Нисбатан тез янгитдан ҳосил бўлувчи захиралар ўсимлик ва ҳайвонот дунёсидир. Ушбу биологик ресурслар бир авлоднинг ҳаёти давомида қайта пайдо бўлади. Фойдали қазилмаларнинг ҳосил бўлиши учун жуда ҳам кўп вақт талаб этилади ва уларни бизнинг замонгача ҳосил бўлишида муҳим рол ўйнаган қулай тоғ-геологик шароитлар яна қайта такрорланмаслиги ҳам мумкин.

Келгусида янгитдан ҳосил бўлувчи қазилма бойликлар – нефт, тошқўмир, торф, сланец, шунингдек, баъзи табиий тузлардир. Бироқ, туғма конларнинг қайта ҳосил бўлиши шу қадар узок жараёнки, қазилма бойликларнинг деярли барчасини табиатнинг «муддатли хазинаси» деб ҳисоблаш мумкин. Амалда янгитдан ҳосил бўлмайдиган ресурсларга магматик келиб чиқишга эга бўлган – металллар олинувчи руда қазилмалари ва баъзи норуда (масалан, корунд, графит ва ҳоказо) қазилмалари киради.



Ўзининг ҳаётини хўжалик фаолиятида инсон табиий материалларни казиб чиқариш билан фойдаланиш учун тўплайди, сўнгра эса тарқатиб юборади. Бунда ресурсларнинг катта қисми қайта ҳосил бўлмайди (Масалан, углерод ундан фойдаланиш жараёнида ер пўстлоғида газсимон ҳолда ёйилади ва атмосферани ифлослантиради; темир турли хил металл буюмлар кўринишида коррозияланиш жараёнида бутун сайёра бўйлаб ёйилиб кетади ва ҳоказо. Инсон томонидан фақат кимматбаҳо металллар бўлмиш – олтин, платина ва ҳоказо тўпланadi, улар ёйилиб, тарқаб кетмайди).

Фойдали қазилмалар ниҳоятда катта миқёсдаги масштабда казиб чиқарилиши энг бой руда конлари қувватининг пасайиб кетишига олиб келди. Агар техника ривожини ва нархлар даражасидаги фойдаланишга ярқли қидириб топилган захиралар кўзда тутиладиган бўлса, хом ашёнинг глобал масштабда озайиб бораётгани тўғрисида фикр юритиш мумкин. Қуйида дунё миқёсида саноат тоифасида фойдали қазилма хом ашёларига бўлган эҳтиёжларнинг таъминланиш индекси келтирилган (1976 йил маълумотлари бўйича 1976–2000 йй. га бўлган захиралар нисбати).

#### Металлар учун:

Алюминий .....	6,2
Темир .....	5,1
Марганец .....	4,6
Титан .....	4,4
Платина .....	3,1
Молибден .....	2,2
Никель .....	2,2
Қалай .....	1,5
Вольфрам .....	1,4
Мис .....	1,4
Кўрғошин .....	1,2
Симоб .....	0,9
Рух .....	0,9
Кумуш .....	0,6

Юқорида келтирилган маълумотлардан кўринадикки, қалай, симоб, рух, кумуш ХХI асрнинг охирига бориб тугаши мумкин. Руда

захираларининг нисбатан тугаётгани ҳақида гап кетаётгани тушунарли, албатта. Келажақда ернинг янада чуқур жойларида ва океан тубларида янги захиралар очилади. Қувватсизлашиб қолган конлардан фойдаланишнинг иқтисодий жиҳатдан самарали усуллари ишлаб чиқилади.

Аниқланган фактлар ишлаб чиқаришга бўлган сарфларни ҳамда минерал хом ашёга бўлган нархларнинг ортиши муқаррарлигини тасдиқлайди. Хом ашё муаммосини ҳал этишнинг бош йўли қуйидагиларни таъминлайдиган технологияларнинг ишлаб чиқиши зарурлигини тақозо этади:

а) табиий ресурслардан тўлақонли ва комплекс тарзда фойдаланилишни ошириш (фойдали қазилмалар чиқаришда компонентларнинг максимал сонини танлаб олиш ва ишлаб чиқариш жараёнларининг барча босқичларидаги чиқиндиларни кескин камайтириш);

б) ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларидан қайта фойдаланиш (чиқитларнинг регенерацияси).

Регенерацион ишлаб чиқариш бир йўла икки муаммони ҳал этади: кўпайиб бораётган чиқиндиларни камайтиради ва хом ашё ресурслари етишмовчилигини бартараф этади. Охирги йилларда регенерацион ишлаб чиқариш янада кенгрок ривожланиб бормоқда.

Иқтисодий таҳлил шуни тасдиқлайдики, регенерацион ишлаб чиқариш учун қилинадиган сарфлар қазиб чиқариш (кон) саноати учун қилинадиган сарфларга нисбатан юқори устунликка эгадир.

### **6.1.3. Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳитнинг ўзаро таъсири**

Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳитнинг ўзаро таъсири жараёнида ишлаб чиқариш ва табиий сфералар ўрталарида моддалар алмашинуви содир бўлади. У антропоген метаболизм ҳодисаси деб аталади.

**Антропоген метаболизм иккита ташкил этувчидан иборат:** Ер юзидаги барча инсониятнинг хусусий модда алмашинуви (биологик қисм) ҳамда технологик жараёнлар орқали юзага келувчи техноген модда алмашинувларининг (технологик қисм) йиғиндисидан ташкил топади. Булардан охиргиси техносфера ва биосфера ўртасидаги модда алмашинуви каби таърифланади.

**Технологик алмашинув** – Ер юзидаги янгича ходисадир ва шунинг учун жамият – табиат тизимида кўплаб муаммо ва қарама-қаршиликларни юзага келтиради.

Исталган технологик жараён дастлабки моддалар (хом ашё) киритилиши билан бошланади ва охир-оқибат турли-туман тайёр буюмлар ва чиқиндилар ҳосил бўлиши билан тугалланади. Бошқа сўз билан айтганда, антропоген алмашинув тизими бир бутун олганда табиий ресурсларни киритиш, уларга энергиядан фойдаланган ҳолда ишлов бериш ва атроф-муҳитга чиқинди моддалар чиқариш (ишлаб чиқариш ва маиший чиқиндилар) ва ўз хизмат муддатини тугатган буюмларни чиқариб ташлаш кабилардан иборатдир. Ушбу жараён чизиқли, ёпиқ бўлмаган ва демак, тугал хусусият касб этади, чунки чиқиндилар ва ишлов берилган буюмларнинг қайтадан дастлабки хом ашё сифатида қайтарилиши ҳали қонда тусига кириб улгурмаган ва ҳанузгача унинг инъикоси бўлиб келмоқда.

Биосферадаги моддалар алмашинуви бошқа тамойилга асосланган. Биосферадаги моддалар ҳаракати жараёни ёпиқ циклик хусусиятни касб этади, яъни Қуёшдан келувчи доимий энергия дастаси таъсирида назарий жиҳатдан узлуксиздир.

Антропоген алмашинувнинг ҳозирги замондаги ҳажми ва тезлиги, айниқса унинг технологик қисмининг шундай даражасига бориб етдики, модданинг киритилиши (хом ашё ресурслари) ва тизимдан чиқишида (чиқиндилар) тобора равшанроқ кескинлик кўзга ташланиб бормоқда.

Натижада ҳозирги вақтда глобал хусусиятга эга бўлган тўртта ўтқир муаммо юзага келди: атроф-муҳитни ифлосланишдан ҳимоя қилиш, тобора кўпайиб бораётган аҳолини озик-овқат маҳсулотлари билан таъминлаш, саноат ишлаб чиқаришни минерал хом ашё билан таъминлаш ва энергетика муаммолари.

Инсоннинг атроф-муҳитга кўрсатаётган таъсири жуда катта. Атроф-муҳитдаги барча компонентлар инсон учун энг муҳим, атмосфера ҳавоси, чучук сув ва ер юзаси жадал равишдаги таъсирга дучор бўладилар.

Атроф-муҳитнинг ифлосланиши – антропоген алмашинув тизими ичидан табиат қўйнига турли-туман чиқинди ва фойдаланиб



бўлинган (хизмат муддатини ўтаб бўлган) буюмларнинг чиқариб ташланиши сабаб бўлмоқда.

Манбаларнинг тури ва атроф-муҳитни ифлослантирилиш йўли низоҳатда хилма-хилдир: атмосферага кимёвий бирикма ва аралашмаларнинг ташланиши; табиий сув ҳавзаларига (дарёлар, ерости сувлари) турли хил ишлаб чиқариш чиқиндилари ва оқава сувларнинг куйилиши, уларга нефт маҳсулотларининг тушиб қолиши; Ер пўстлоғининг каттиқ чиқиндилар билан ифлосланиши; ионизацияловчи радиация, товуш, вибрация, шунингдек, атмосфера ва сув ҳавзасига иссиқлик чиқиндиларининг чиқариб ташланиши. Айтиб ўтилган ифлослантирувчи манбалардан кўпчилиги кимё саноати ишлаб чиқаришига тааллуқлидир. 6.2-расмда ишлаб чиқариш чиқиндиларининг атроф-муҳитдаги нисбий масофаларини кўриш мумкин.

*Дарёга ёки оқава сувлар коллекториغا,  
ер ости сувларига тушадиган  
чиқиндилар*



6.2-расм. Ишлаб чиқариш чиқиндиларининг атроф-муҳитдаги нисбий масофалари ва тарқалиши.



МДХ давлатларида атмосферани бузувчи асосий саноат ишлаб чиқариш ва транспортнинг олти тури мавжуд. Уларнинг атмосферани бузишдаги нисбий иштироки қуйидагича (%): иссиқлик энергетикаси – 27,0; қора металлургия – 24,3; рангли металлургия – 10,5; нефт қазиб чиқариш ва нефт кимёси саноати – 15,5; автотранспорт – 13,3; қурилиш материаллари корхоналари – 8,1; кимё саноати – 1,3.

Кўриниб турганидек, иссиқлик энергетикаси ва қора металлургия корхоналари атмосферани ифлослантирувчи корхоналар чиқарувчи чиқиндиларнинг ярмидан кўпини чиқариб ташлайди. Умумий миқдори бўйича кимё ишлаб чиқариш корхоналаридан чиқувчи чиқиндилар озроқдир, аммо уларнинг хилма-хиллиги ва юқори захарлилиги кимё саноатининг атмосферани ифлослантирувчи асосий корхоналар қаторига киритилишини тақозо этади.

Кимё ва нефт кимёси корхоналари учун технологик ва вентиляция тизимларга оид, атмосферага ташкиллаштирилган ва ташкиллаштирилмаган тарзда зарарли моддаларнинг атмосферага ташланиши мавжудлиги хусусиятлидир. Технологик чиқиндиларга технологик жараёнларнинг кулсимон ташландиқ маҳсулотлари, ускуналарнинг пуфланишидан чиқувчи чиқиндилар, доимий тарзда ишлаб турувчи чиқинди газ бирикмаларини чиқарувчи мўриконлар, даврий равишда ишловчи сақлаш клапанлари, технологик печларнинг тутун мўриконлари киради. Технологик чиқиндилар унча катта бўлмаган газ-ҳаво аралашмасидаги зарарли моддаларнинг юқори концентрацияси билан белгиланади.

Вентиляция чиқиндиларга умумалмашинаув ва маҳаллий сўрувчи вентиляциялардан чиқувчи чиқиндилар киради. Вентиляция ҳавонинг ҳажмини ҳисобга олганда вентиляция чиқиндиларда мавжуд бўлувчи зарарли моддалар миқдори, технологик чиқиндилардан ҳам юқори бўлиши мумкин.

Ташкиллашган ҳолда чиқиндиларга газ чиқариб ташловчи тизимлар чиқариш жойларидан чиқарилувчи газ чиқиндилари киради ва бу зарарли моддаларнинг мувофиқ қурилмалар орқали тутиб олинишига имкон беради.

Ташкиллашмаган ҳолдаги чиқиндилар қурилмалар, коммуникациялар, намуна олиш жиҳозлари, канализация қудуқлари герметик тарзда бўлмасликлари туфайли юзага келади.

Углерод диоксиди, олтингугурт диоксиди, азот оксидлари, углеводородлар, учувчи эритувчилар (ароматик углеводородлар, спиртлар, эфирлар, кетонлар, галоген бирикмали углеводородлар ва ҳоказо) шунингдек, чанг – атмосферани ифлослантирувчи энг кўп ёйилган моддалардир.

Атмосферани ифлослантирувчи 200 дан ортиқ моддалар маълум бўлиб, янгидан-янги технологик жараёнларнинг ўзлаштирилиши билан уларнинг сони орта боради. Баъзи ҳолатларда атроф-муҳитга бўладиган таъсир чиқиндилардан уларга куёш нури таъсир этиши натижасида атмосферада ҳосил бўлувчи янги моддалар таъсири кучаяди.

Инсон фаолиятининг табиий ресурси ва шунинг билан бир вақтда унинг ҳаётий зарур неъматини бўлган чучук сувларнинг ифлосланиши жиддий хавф туғдиради. Масалан, 1900 йилда АҚШда устки оқим сув ресурсининг фақат 6 %, 1960 йилда 27%, 1980 йилда эса 50 % дан ортиқ миқдори инсон томонидан фойдаланиш учун сарфланган. Жаҳон бўйича сув истеъмоли 60-йилларнинг охирида 560 км<sup>3</sup> ҳажми ташкил этди, бу Ер юзасидаги дарё сувлари ҳажмининг ярмини ташкил этади. Бунда сув ҳавзаларига 440 км<sup>3</sup> оқова сувлар тушиб, 5500 км<sup>3</sup> тоза сувни ифлослантирган.

МДХ мамлакатларида қайта янгиланувчи дарё оқими йилига 4700 км<sup>3</sup> ҳажми ташкил этади. Сув истеъмоли учун фойдаланилиши мумкин бўлган оқимнинг энг барқарор миқдори йилига 1600 км<sup>3</sup> ёки умумий сув ресурсларининг 34 % ни ташкил этади.

Саноат корхоналари, қишлоқ хўжалиги, транспорт турли-туман сирт-фаол моддалар, тузлар, минераллар, углеводородлар, муаллак моддалар, ўғитлар ва заҳарли химикатлар орқали сув ҳавзаларини ифлослайди.

Сувнинг органик жиҳатдан ифлосланишининг хавфи кўри-нишларидан бири 20 км<sup>2</sup> сув усти майдонидан ортиқ қисмининг нефт орқали ифлосланишидир. Бундай плёнка қават ёруғлик нури ўтишини камайтиради, фотосинтезга қаршилик кўрсатади, кислород ва углерод (IV) оксидининг ўтиш ҳаракатини пасайтиради. Вақт ўтиши билан нефт плёнкаси куёш нури таъсири остида юқори токсик моддалар ҳосил қилиш билан парчаланади.

Ҳозирги замоннинг энг муҳим муаммоларидан бири тупрокни сақлашдир. Ҳар йили дунё бўйича тахминан 6–7 млн. га тупрок яроксиз ҳолатга келади.

Қишлоқ хўжалиги учун ярокли ва ҳайдалувчи ерлардан шаҳар қурилиш майдони ўрнида, йўл солиш, саноат қуриш учун чиқинди ағдариш учун фойдаланилишидан катта йўқотишлар юзага келади.

Ҳозирги пайтда 1 млн  $m^3$  фойдали қазилма қазиб чиқарилиши учун 8,6 га, 1 км узунликдаги қувур ётқизиш учун 4 га, 1 км узунликдаги автойўл солиниши учун 2 га ер сарфланади.

Шундай қилиб, инсон фаолиятининг экологик асоратлари атроф-муҳитнинг алоҳида компонентларидаги ва уларнинг бутун мажмуида табиий тарзда кечувчи жараёнларнинг бузилишига таъсир кўрсатади. Инсон, унинг фаолияти, бизни ўраб турган муҳитнинг компонентларига бевосита таъсир этган ҳолда экологик-иктисодий тизимлар узвий боғланишини ҳосил қилади (ЭИТ), унинг ҳаётий фаолиятининг узвий боғлиқлиги туфайли алоҳида компонентлар ҳолида кўриб чиқилиши мумкин эмас.

Машҳур эколог Барри Коммонер инсоннинг ишлаб чиқариш фаолияти ва атроф-муҳитнинг ўзаро боғлиқлигини акс эттирувчи асосий Қонунларни кашф этди: барча нарса барча нарса билан боғлиқ; барча нарса қаергадир тушиши лозим; табиат яхшироқ билади; ҳеч нарса бекордан-бекорга берилмайди.

#### **6.1.4. Атроф-муҳит ҳолатини назорат қилиш**

Аралашмаларнинг атмосферадаги асосий физик хусусияти (тавсифи) бўлиб уларнинг меъёрий шароитларда (одатда  $mg/m^3$ ) ҳаво ҳажми бирлигидаги модданинг миқдорининг концентрацияси хизмат қилади. Аралашмаларнинг концентрацияси уларнинг атроф-муҳитга бўлган физик, кимёвий ва бошқа хил таъсирларини белгилайди ва атмосфера ва сув объектларида аралашмаларни меъёрлашда асосий параметр бўлиб хизмат қилади.

Аралашмаларнинг атмосферадаги чекланган йўл қўйилувчи концентрациялари (ПДК) (ЧЙК) – атмосферадаги аралашмаларнинг маълум вақт давомида ўрталаштирилган макси-



мал концентрациясидир ва у даврий равишдаги таъсир ёки инсоннинг барча ҳаёти давомида унга ва атроф-муҳитга узоқдан таъсир этувчи асоратларни киритган ҳолда зарарли таъсир кўрсатмайди. Ифлослантирувчи моддаларнинг чегаравий йўл қўйилувчи концентрацияси Ўзбекистон Соғликни сақлаш вазирлиги томонидан чекланади.

Агар моддалар бизни ўраб турган табиатга инсон организмга кўрсатадиган таъсирдан кўрсатганига қараганда кам миқдордаги концентрацияда зарарли таъсир кўрсатса, меъёрлаштиришда ушбу таъсирнинг атроф-табиатга бўлган таъсирдан келиб чиққан ҳолда ёндашилади.

ПДК (ЧЙК) икки турга бўлинади – максимал бир марталик (ПДК бир) ва ўртача суткалик (ПДК сут). Биринчиси асосан 20–30 минутлик вақт оралиғига тааллуқлидир ва у аралашманинг инсон организмга қисқа вақт таъсир этиш даражасини белгилайди; иккинчиси – ҳавонинг узоқ вақт давомида унинг давом этишини қатъий аниқликда ўлчанишисиз ифлосланишининг йўл қўйилиш даражасидир.

МДХ мамлакатларида 200 ингредиент учун ПДК ўрнатилган. 4.1-жадвалда энг кўп тарқалган баъзи аралашмалар учун қийматлар келтирилган. Заҳарли таъсирига кўра аралашмаларнинг тўрт хавфлили синфга ажратилади.

Ҳар қайси зарарли модданинг ер усти қаватидаги энг юқори концентрацияси максимал бир марталик чегаравий йўл қўйилган концентрациядан, яъни  $C \leq \text{ПДК}$  марталикдан бир ошмаслиги лозим. Атмосферада бир нечта бир хил йўналишдаги таъсирга эга бўлган зарарли аралашмаларнинг бир вақтнинг ўзида мавжуд бўлишида, уларнинг ўлчовсиз жами концентрацияси қуйидаги шартни қаноатлантириши лозим:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_{\text{бир}1}} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_{\text{бир}2}} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_{\text{бир}n}} \leq 1$$

Бунда  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – атмосферанинг бир нуктасининг ўзидаги зарарли моддаларнинг концентрацияси,  $\text{мг/м}^3$ ;  $\text{ПДК}_{\text{бир}1}, \text{ПДК}_{\text{бир}2}, \dots, \text{ПДК}_{\text{бир}n}$  – атмосферадаги зарарли моддаларнинг максимал бир марталик чегаравий йўл қўйилувчи концентрациялари,  $\text{мг/м}^3$ .



**АҲОЛИ ПУНКТЛАРИНИНГ АТМОСФЕРА ҲАВОСИ УЧУН БАЪЗИ  
МОДДАЛАРНИНГ ЧЕГАРАВИЙ ЙЎЛ ҚЎЙИЛУВЧИ КОНЦЕНТРАЦИЯ  
ҚИЙМАТЛАРИ (ПДК) (ЧЙК)**

Модда	ПДК, (ЧЙК), мг/м <sup>3</sup>		Хав- флилик синфи
	Максимал – бир марталик	Ўртача – суткалик	
Азот диоксиди	0,085	0,085	2
Аммиак	0,2	0,2	4
Олтингургурт диоксиди	0,5	0,05	2
3,4-Бенз(а) пирен	–	10 <sup>-6</sup>	1
Муаллақ моддалар (чанг)	0,5	0,05	3
Сульфат кислота	0,3	0,1	2
Метилмеркаптан	9 · 10 <sup>-6</sup>	–	2
Металл симоб	–	3 · 10 <sup>-4</sup>	1
Водород сульфид (H <sub>2</sub> S)	0,008	0,008	2
Олтингургуртнинг углеродли бирикмаси	0,03	0,005	2
Углерод оксиди	3,0	1,0	4
Фенол 0,01	0,01	0,01	2
Газсимон фторли бирикмалар	0,02	0,05	2
Хлор	0,05	0,05	3

Бир йўналишдаги таъсир эффектига олтингургурт ва азот диоксидлари; олтингургурт диоксиди ва водород сульфид; этилен, пропилен, бутилен ва амилен, озон, олтингургурт диоксиди, формалдегид ва хоказо бир қатор зарарли моддалар эгадирлар.

**Атмосферага чиқарилувчи чегаравий йўл қўйилган чиқиндилар (ПДВ) (ЧЙЧ).** Атмосферани ифлослантирувчи ҳар қайси манба учун саноат корхоналарининг ривожланиш келажаги ва зарарли моддаларнинг атмосферада ёйилиши аҳоли, ўсимлик ва хайвонот дунёси учун берилган манбадан шаҳар ёки бошқа аҳоли пунктининг чиқиндилари билан қўшиб олган ҳолдаги ПДК(ЧЙК) миқдордан ортувчи ерга оид концентрациясини ҳосил қилмаслигини ҳисобга олиш шартидан келиб чиққан ҳолда зарарли моддаларнинг чегаравий йўл қўйилган чиқиндилари ўрнатилади.

Атмосферани ифлослантурувчи манба учун ПДВ (ЧЙЧ) ўрнатилишида ушбу жойда ишловчи бошқа ифлослантурувчи манбалардан хосил бўлувчи зарарли моддаларнинг фонга оид концентрацияси қиймати ҳисобга олинмиши зарур. ПДВ (ЧЙЧ) аралашмаларнинг атмосферада ёйилиш ҳисоби асосида ўрнатилади. Бир-бирига яқин жойлашган мўриконлар бўлиши  $N$  манбадан чиқариб ташланувчи иссиқ чиқиндиларнинг ПДВ (ЧЙЧ) си қуйидаги формула орқали ҳисобланиши мумкин:

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi})H^2}{ArFmn} \sqrt{\frac{V\Delta T}{N}}$$

Бунда,  $C_{\phi}$  – берилган аҳоли пункти ёки шаҳардаги фонга оид концентрация;  $H$  – мўриконларнинг баландлиги;  $V$  – вақт бирлигида ташланувчи тутун газларнинг ҳажми;  $\Delta T$  – газларнинг атрофдаги ҳавога нисбатан иссиқлик даражаси;  $A$  ва  $r$  – мувофик равишда ноқулай иқлимий шароитлар ва рельефнинг таъсирини ифода этувчи коэффицентлар (текис жой учун  $r=1$ );  $F$  – аралашмани чуқиш таъсирини аниқловчи коэффицент (газлар учун  $F=1$ );  $m$  ва  $n$  – ёрдамчи параметрлар.

ПДВнинг ўрнатилиши муайян корхонадан чиқиб атмосферанинг ерга туташ қатламига ёйилувчи чиқинди газларнинг мумкин бўлган нохуш таъсиридан аҳоли ҳимоясини кафолатлайди. Бунда ПДК асосий меъёр бўлиб қолади, ПДВ миқдори эса корхона чиқиндилари устидан назоратни енгиллаштирган ҳолда иккинчи даражали қийматга эга бўлади. Корхоналардаги назорат қилиш тизимлари чиқинди чиқариб ташловчи манбаларни ва ПДВ нинг рию этилишини кузатиб боради.

Моддаларнинг сув объектларидаги чегаравий йўл қўйилган концентрациялари (ПДК) (ЧЙК) – моддаларнинг сувнинг фойдаланиш учун яроқсиз ҳолга келтирувчи концентрацияси.

Сув объектларига юқорида жойлашган корхоналардан бир неча моддаларни ва аралашмаларни ҳисобга олганда, қўшилишида, атмосферанинг ифлосланиш ҳолатидаги каби қуйидаги шартларга амал қилиниши лозим:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

Ҳозирги пайтда санитар хизмати органлари томонидан 400 дан ортиқ хилма-хил моддалар учун сув ҳавзалари сувларининг ПДК си ўрнатилган.

Юзадаги сувларни оқова сувлар орқали ифлосланишдан сақлаш қоидаларида сув объектларига ўзида ПДК ўрнатилмаган моддалар тутувчи оқова сувларнинг қўшилишини таъқиқланади.

**Атроф-муҳит мониторинги.** Мониторинг деб атрофдаги табиий муҳитни баҳолаш ва унинг ҳолатини аввалдан белгилашнинг кузатувлар тизимига айтилади. Мониторингнинг мақсади – антропоген ифлосланишларни аниқлашдир.

Мониторинг – кимёвий, физик (нурланиш, иссиқлик орқали ифлосланиш) каби антропоген таъсирлар манбалари ва омиллари устидан ҳамда ушбу таъсирлар орқали атроф-муҳитда юзага келувчи эффектлар ва ҳаммасидан аввал биологик тизимлар реакцияси устидан бўлган кузатувларни ўз ичига олади.

Мониторинг тизими локал (махаллий) қисмини ишғол қилгани каби бутун ер қуррасини ҳам ишғол этиши мумкин (биосфера ҳолатини баҳолаш учун глобал мониторинг). МДХда турли даражадаги – глобал, регионал ва маҳаллий мониторинглари ишлаб чиқилган. Атмосфера ҳавоси ифлосланишининг назорат қилиш станциялари тармоғи 1500 станцияни, ички сув ҳавзаларининг ифлосланиши – 3343 станцияни, денгиз ифлосланиш тармоғи – 1500 станцияни ўз ичига олади; тупроқ ифлосланишини назорат қилиш учун 2000 та пост ташкил этилган.

### **6.1.5. Атроф-муҳит ифлосланишининг иктисодий асоратлари**

Атроф-муҳитнинг ифлосланиши халқ ҳўжалигида икки хил кўринишдаги сарфларни тақозо этади: ифлосланган муҳитнинг алоҳида объектларга бўладиган таъсирининг (зарарини) олдини олувчи сарфлар ҳамда таъсирнинг ўзи орқали юзага келувчи сарфлар (атроф-муҳитга мувофиқ чиқиндилар чиқиши орқали келтирилувчи зарар). Ушбу сарфларнинг йиғиндиси атроф-муҳитнинг ифлосланиши билан халқ ҳўжалигига етказилувчи зарарни ифода этади.

Исталган манба учун атмосферага чиқариб ташланишидан юзага келувчи йиллик зарарнинг яхлитлаштириб олинган иқтисодий баҳоланишини қуйидаги формула бўйича аниқлаш мумкин:

$$Y_a = \gamma \sigma t M,$$

Бунда  $Y_a$  – зарар, сўм/йил;  $\gamma$  – ифлослантирувчи моддалар шартли массаси бирлигидан бўлган солиштирма зарар, сўм/шарт;  $t$ ;  $\sigma$  – турли хилдаги ҳудудлар устидаги атмосферанинг ифлосланишининг нисбий хавфини белгиловчи ўлчовсиз кўрсаткич;  $f$  – ифлослантирувчи газларнинг атмосферада ёйилишини ҳисобга олувчи ўлчовсиз тузатиш;  $M$  – ифлослантирувчи манбадан чикувчи чиқиндининг келтирилган шартли массаси, шарт. т/йил.

Моддаларнинг заҳарлилигини ҳам ўз ичига олган ҳолда барча катталиклар турли хил омилларга боғлиқ бўлади.

Маълум сув ҳавзасига ифлослантирувчи чиқиндилар орқали келтирилувчи зарар, исталган манба учун (корхона, аҳоли пункти), юқоридаги формулага ўхшаш формула орқали аниқланади:

$$Y_b = \gamma \sigma M,$$

Бунда  $Y_b$  – зарар, сўм/йил;  $\gamma$  – ифлослантирувчи моддалар шартли массаси бирлигидан бўлган солиштирма зарар, сўм/шарт;  $\sigma$  – турли сув ҳўжалик участкалари (масалан Шимолий Донецк дарёсининг қуйилиш жойи учун – 3,70, Енисей дарёсининг қуйилиш жойи учун – 0,11) ифлосланишининг нисбий хавфини белгиловчи ўлчовсиз кўрсаткич;  $M$  – берилган манбадан чикувчи чиқиндининг келтирилган шартли массаси, шарт. т/йил.

Шунингдек, ер ресурслари орқали келтирилувчи ифлосланиш ва ажратиб чегараланишлар орқали юзага келувчи иқтисодий зарарлар ҳам ҳисоблаб чиқилиши мумкин.

Кўпчилик саноати ривожланган мамлакатларда атроф-муҳитнинг ифлосланишидан юзага келувчи иқтисодий зарар ялпи миллий маҳсулотнинг 3–5% ни ташкил қилади. Бунда ифлосланишни камайтиришга қаратилган тадбирларни амалга ошириш учун бўлган сарфлар 1–3% га етди. Саноатнинг турли соҳаларида атроф-муҳитни муҳофаза қилиш учун бўлган капитал харажатлар умумий капитал маблағларнинг 5–20% гача бориб етади.



### 6.1.6. Чиқиндисиз ишлаб чиқаришни барпо этишнинг асосий тамойиллари

Чиқиндисиз ишлаб чиқаришни барпо этиш масалаларини кўриб чиқишда фойдаланишни талаб этувчи асосий тушунчаларни кўриб чикамиз.

**Ишлаб чиқариш чиқиндилари** – берилган маҳсулот олишда ўз сифатини тўлиқ ёки қисман йўқотган ва стандартларга (техник шартлар) мувофиқ келмайдиган хом ашё колдиклари, материаллар ва ярим маҳсулотлардир. Ушбу колдик материаллар мувофиқ ишловлардан сўнг ишлаб чиқариш ёки истеъмол соҳаларида қўлланилиши мумкин.

**Истеъмол чиқиндилари** – бундан кейинги фойдаланиш учун яроксиз бўлган (тўғридан-тўғри мақсадлар йўлида) ишлаб чиқариш – техник ва маиший мақсадлардаги буюмлардир (масалан пластмасса ва резинадан бўлган едирилган, эскирган буюмлар, иссиқлик изоляция печларининг ишлатиш учун яроксиз ҳолга келган шамотли ғишти ва ҳоказо).

**Йўлдош қўшимча маҳсулотлар** хом ашёни физик-кимёвий қайта ишланишида ишлаб чиқаришнинг асосий маҳсулотлари қаторида ҳосил бўлади ва ишлаб чиқариш жараёни мақсадларини ифода этмайди. Улар кўпчилик ҳолларда товар ҳолида бўлиб, уларга ГОСТ, ТШ ва тасдиқланган нархлар мавжуд бўлади, уларнинг чиқарилиши режалаштирилади. Ҳаммадан кўп булар хом ашёда мавжуд бўлмаган компонентлар бўлиб, берилган ишлаб чиқаришда улардан фойдаланилмайди ёки улар асосий хом ашёни қазиб чиқариш ёки бойитишда ҳосил бўлади, уларни йўлдош маҳсулотлар деб ҳам аталади (масалан, нефт қазиб чиқаришда ҳосил бўлувчи йўлдош газ).

**Иккиламчи материал ресурслар (ВМР) (ИМР)** – ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларининг йиғиндиси бўлиб, улардан мақсадли маҳсулот чиқариш учун асосий ёки ёрдамчи материал сифатида фойдаланилиши мумкин.

Ишлаб чиқариш ва атроф-муҳит ўртасида ҳозирги пайтгача ҳам очик турдаги боғлиқлик устунлик қилиб келади. Ишлаб чиқариш жараёни табиий ресурслардан фойдаланишдан бошланиб, уларни ишлаб чиқариш воситаси, истеъмол предметига айлантирилиши

билан тугалланади. Ишлаб чиқариш жараёни кетидан уларни истеъмол қилиниш жараёни келади, сўнг эса фойдаланиб бўлинган маҳсулотлар ташланади.

Шундай қилиб, очиқ тизим табиатнинг дастлабки материалидан бир марталик фойдаланиш тамойилига таянади.

Ишлаб чиқариш ҳар сафар баъзи янги табиий ресурслардан фойдаланишдан бошланади ва ҳар гал ҳам истеъмол қилиш чиқиндиларининг атроф-муҳитга чиқариб ташланиши билан тугайди. Юқорида кўрсатиб ўтилганидек, табиий ресурсларнинг жуда ҳам кам қисми мақсадли маҳсулотга айлантирилади, уларнинг катта қисми чиқитга чиқарилади.

Биосфера тизимларнинг қаторлашган тамойили бўйича амал қилади: ҳар қайси шакл бошқа шаклларнинг бузилиши ҳисобига тузилади. Ишлаб чиқариш фаолияти охирига вақтгача ҳам бошқа тамойил асосида – табиий ресурслардан максимал тарзда фойдаланиш ва ишлаб чиқариш ҳамда истеъмол чиқиндиларининг деструкциялаш муаммоларига эътибор бермаган ҳолда курилиб келди. Бу йўл чиқиндилар кўлами экологик тизимларнинг ўз-ўзини ўнглаш лаёқати чегараларидан ортиб кетмаслик ҳолатигача мавжуд бўлиши мумкин эди.

Шундай қилиб, ишлаб чиқариш билан атроф-муҳит оралиғидаги боғлиқликнинг тамоилий жиҳатдан янги шаклига, яъни ишлаб чиқариш жараёнларини модданинг табиатда умум айланишидаги юқори қаторланиши мумкинлигини тахмин қилувчи – ишлаб чиқаришнинг ёпик тизимларига ўтиш зарурияти пишиб етилди.

Ёпик тизимда ишлаб чиқариш куйидаги фундаментал тамойилларга таянган ҳолда курилади:

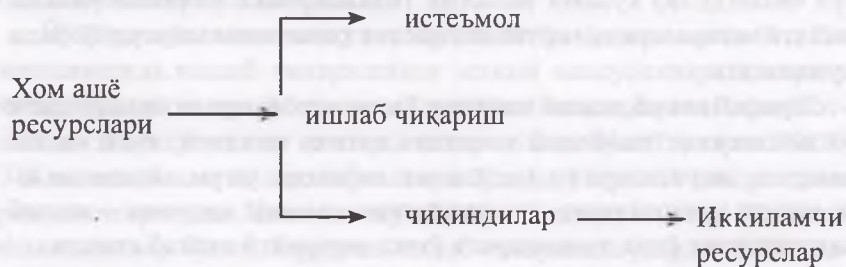
1) дастлабки табиий хом ашёдан мумкин қадар тўлиқ фойдаланиш;

2) ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндиларидан мумкин қадар тўлиқ фойдаланиш (чиқиндиларни регенерациялаш ва уларни ишлаб чиқаришнинг кейинги босқичлари учун бошланғич хом ашёга айлантириш);

3) фойдаланилувчи ишлаб чиқариш ва истеъмол чиқиндилари экологик тизимлар томонидан ассимиляцияланишлари мумкин бўлган сифатларга эга бўлган охириги маҳсулотларни яратиш.

Ресурслардан фойдаланиш соҳасидаги бугунги юзага келган ҳолат ва ишлаб чиқариш чикиндилари кўлами, табиий ресурсларни оптимал истеъмол қилиш ва атроф-муҳитни муҳофаза қилишнинг экологик жиҳатдан зарарсиз ёки чиқитсиз жараёнларни ва биринчи навбатда кам чиқитли технологик жараёнларни яратишдан иборат бўлган бирдан-бир йўли бор, деган хулоса чиқаришга имкон беради. Бу табиат томонидан айtilган ягона йўлдир.

1979 йилнинг ноябрь ойида Женевада Бирлашган Миллатлар Ташкилоти миқёсида атроф-муҳитни муҳофаза қилиш бўйича ўтказилган анжуманда «Кам чиқитли ва чиқитсиз технологиялар ва чикиндилардан фойдаланиш тўғрисида Декларация» қабул қилинди. Ушбу декларацияга мувофиқ **чиқитсиз технология** деганда саноат ва регион, соҳанинг саноат ва қишлоқ хўжаликнинг, шунингдек, алоҳида ишлаб чиқаришларнинг шундай ишлаш тамойиллари тушуниладики, бунда ҳам ашёнинг барча компонентлари ва циклдаги энергиядан рационал тарзда фойдаланилади ва экологик мувозанат бузилмайди:

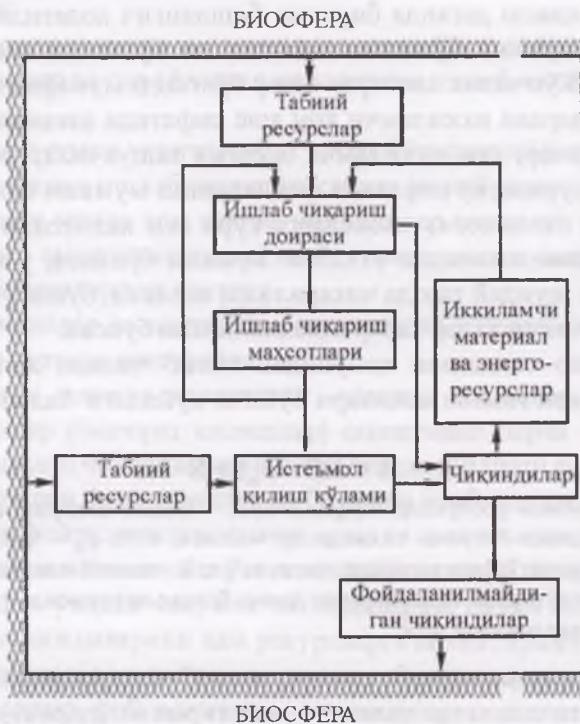


**Кам чиқитли ишлаб чиқариш** деганда шундай ишлаб чиқариш тушуниладики, бунда фаолиятнинг зарарли асоратлари, санитар меъёрлар орқали йўл қўйилувчи миқдордан ошмайди, аммо техник, иқтисодий, ташкилий ёки бошқа сабаблар туфайли ҳам ашё ва материалларнинг бир қисми чиқитга ўтади ва узоқ вақт сақланишга юборилади.

Албатта, чиқитсиз технология концепцияси баъзи даражаларда шартли аҳамият касб этади. Чиқитсиз технология деганда назарий чегара, ишлаб чиқаришнинг кўпчилик ҳолларида тўлиқ тарзда амалга оширилмай, балки фақатгина қисман (кам чиқитли дейили-

шининг маъноси шундан), ammo технологик такомиллашувнинг тобора яқинлашиши билан кечувчи идеал модели тушунилади.

Табиатнинг ўз-ўзини тозалаш лаёқати ортга қайтарилмайдиган экологик ўзгаришлар юзага келишининг етарли даражада олдини олиш мумкин бўлган, минимал чиқиндилар билан кечувчи технологик жараёнлар баъзида «экологик технология», «кам чиқитли жараёнлар», «зарарсиз технология» деб юритилади. Бирок «чиқитсиз технология» энг кўп тарқалгандир. Биосфера билан инсоннинг техноген фаолияти 6.3-расмда кўрсатилган.



6.3-расм. Биосфера ва инсоннинг техноген фаолияти ўртасидаги боғланиш.

Чикитсиз технология стратегияси, ишлаб чиқаришнинг фойдаланилмайдиган чиқиндилари тўлиқ фойдаланилмаган табиий ресурслар ва атроф-муҳитни ифлослантириш манбалари эканлигидан келиб чиққан ҳолда курилади. Технологиянинг товар маҳсулоти



ҳисобида олинган фойдаланилмайдиган чиқиндиларнинг солиштирма чиқиш миқдорининг пасайиши шу миқдордаги хом ашёнинг ўзидан кўпроқ маҳсулот ишлаб чиқарилишига имкон беради ва шунинг билан бирга атроф-муҳитни муҳофаза қилиш бўйича таъсирли чора бўлиб хизмат қилади.

Биосфера бизга ишлаб чиқариш натижасида охириги маҳсулотлар ҳосил бўладиган ва бунда чиқитлар ҳосил бўладиган табиий ресурсларни беради. Маҳсулотлардан ё ишлаб чиқариш соҳасида ёки бўлмаса истеъмол соҳасида фойдаланилади ва яна чиқитлар ҳосил бўлади. Чиқинди деганда биринчи бошланғич ҳолатида истеъмол қилиниши мумкин бўлмаган лаёкатга эга бўлмаган моддалар тушунилади. Кўпчилик ҳолларда зарур бўлганда мувофиқ ишловлардан сўнг улардан иккиламчи хом ашё сифатида (иккиламчи материал ресурслар) ёки иккиламчи энергия ташувчилар (иккиламчи энергия ресурслари) сифатида фойдаланиш мумкин бўлади. Агар техник ёки технологик сабабларга кўра ёки иқтисодий жиҳатдан чиқиндиларни ишловдан ўтказиш мумкин бўлмаса, у ҳолда улар биосферага шундай тарзда чиқарилиши керакки, бунда улар атроф-муҳитга мумкин қадар зарар етказмайдиган бўлсин.

Моддалар сакланиш қонунидан келиб чиққан ҳолда ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳалари бўйича қуйидаги балансни тузиш мумкин:

$$R = A(1 - \varphi_m) + S$$

Бунда  $R$  – табиий ресурслар сарфи, кг/с;  $A$  – ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳаларида ҳосил бўлувчи чиқиндилар массаси, кг/с;  $\varphi_m$  – чиқиндилардан фойдаланишнинг ўртача коэффицентини, кг/кг;  $S$  – ишлаб чиқариш ва истеъмол соҳаларида ишлаб чиқаришнинг доимо ўсиши натижасида тупланиб боровчи моддалар массаси, кг/с.

Баланс тенгламанинг таҳлили, ишлаб чиқаришнинг фойдаланилмайдиган чиқиндиларининг солиштирма миқдорининг  $A(1 - \varphi_m)$  ва бинобарин табиий ресурсларнинг солиштирма сарфларининг камайиши:

– ишлаб чиқариш чиқиндилари солиштирма чиқишининг камайиши ҳисобига  $A$ ;

– чиқиндилардан фойдаланиш коэффицентининг кўлайиши ҳисобига  $\varphi_m$  бўлиши мумкинлигини кўрсатади.

Юқорида кўрсатиб ўтилган йўллардан бирининг танланиши технологик имкониятларга боғлиқ бўлгани каби иктисодий шарт-шароитларга ҳам боғлиқдир. Чиқитсиз технология яратишнинг биринчи мақсади – фойдаланилмаган чиқиндиларнинг масса оқимининг вақт бирлиги ичида биосферага чиқарилувчи микдорини шу қадар камайтиришликка, бунда биосферанинг табиий мувозанати сақланиб қолиши ва асосий табиий ресурсларнинг сақланиши таъминланиши лозим.

Чиқитсиз технология яратилишида қуйидаги тўрт тамойил аниқланди:

1) самарали тозалаш усуллари асосида турли хил оқимсиз технологик схемалар ва сув айланиш цикллари ишлаб чиқиш ва жорий қилиш;

2) барча турдаги чиқитларнинг ҳосил бўлишини йўқотувчи янги технологияларни ишлаб чиқиш ва уларни жорий этиш;

3) мажмуа ичида хом ашё ва чиқиндилар материал оқимининг ёпиқ тизими амалга ошган ҳудудий – саноат мажмуаларини, яъни иктисодий туманларни яратиш;

4) чиқиндилар ва энергетик ресурслардан иккиламчи материал ва энергия тарзида кенг фойдаланиш.

Амалдаги мавжуд вазиятнинг, келажак ҳисоблар ва олдиндан кўришлар (башорат қилишлар) саноатнинг барча соҳаларида чиқитсиз ишлаб чиқаришларнинг амалга оширилиши фан ва техника ютуқларидан фаол равишда ва биринчи навбатда кимё технологияларидан фойдаланилгандагина мумкинлигини аниқ кўрсатади.

Кимё технологиясининг ўзига хос хусусиятлари шундан иборатки, у нафақат ўзидан чиқувчи чиқиндиларни, балки бошқа ишлаб чиқариш чиқиндиларини ҳам ресурсларга айлантиради. Шу муносабат билан кимё ва кимё технологияси табиатни асраш, хом ашёдан комплекс тарзда фойдаланиш ва чиқиндиларни ишлатиш, ишлаб чиқариш саноати чиқиндиларини зарарсизлантириш каби йирик муаммоларнинг ҳал этилишига ёрдам беради. Мисол тариқасида иссиқлик энергетикасидаги экологик муаммоларни ечишда кимё технология усулларининг соҳалараро ролини кўрсатиш мумкин. Юқорида олтингурут диоксиди ва азот оксидларини иссиқлик электростанциялари ва ТЭЦлар орқали ташланишига мисоллар кел-

тирилган эди. Тутун газларини ушбу зарарли комонентлардан тозалаш учун турлича физик-кимёвий усуллар, шу жумладан, сорбентлардан фойдаланилувчи курук ва ишқор ҳамда аммиакнинг сувли эритмаларини қўллаш билан амалга оширилувчи ҳўл усуллардан фойдаланилади. Нитратлар ва аммоний сульфатлари бўлмиш минерал ўғитларнинг олиними билан бирга бир вақтда амалга оширилувчи тозалаш усуллари ишлаб чиқилган.

Саноатда органик ёқилғи ёқилиши (газ, мазут) катализаторларда амалга оширилувчи иссиқлик каталитик генераторлари (КГТ) кенг ўрин топдилар. Ушбу кимё технология амалидан иссиқлик энергетикасида фойдаланиш ёқилғи ёниш жараёнини жадаллаштиришга, ускуналарнинг металлталаблигини камайтиришга, ортиқча ҳавони стехиометрик қийматга яқинлаштиришга ва азот оксидларининг ёниш маҳсулотлари билан қўшилиб чиқилишининг юз баробар камайрилишига имкон беради.

Кимё технология усуллари металлургия саноатида, қурилиш материаллари ишлаб чиқарилишида ва халқ ҳўжалигининг бошқа материалталаб соҳаларида ишлаб чиқилувчи кўпчилик чиқитсиз технологиялар асосига қўйилгандир.

### **6.1.7. Чиқитсиз ишлаб чиқаришларнинг иқтисодий самарадорлиги**

Кимё ишлаб чиқариш корхоналарининг лойиҳалаштирилишида чиқитсиз технологик схемасини берилган маҳсулот олишнинг анъанавий схемаси билан таққослаш амалий аҳамиятга эгадир. Бундай таҳлилни амалга ошириш учун чиқитсиз технология яратиш соҳасида техник сиёсатни ишлаб чиқиш ва режалаштириш учун мўлжалланган эталон лойиҳалар тузилади. Эталон лойиҳа тушунчаси деганда «ресурслар–ишлаб чиқариш–истеъмол–ресурслар» циклидаги технологик босқичларнинг шундай мажмуи тушуниладики, бунда материал ва энергетик оқимларнинг ёпиқ ҳарорати таъмин этилади.

Кўрсаткичлар сифатида иқтисодий аҳамиятга эга бўлган куйидаги: чиқиндиларнинг умумий ёки солиштирма миқдори;



чикиндилар таркибига кирувчи бирикмаларнинг биосфера элементлари билан ўзаро таъсири; чикиндиларнинг тарқатилиши ҳамда ташилиши ва ҳоказо критерийлар (мезонлар) танлаб олинади.

Эталон лойиҳа алоҳида олинган корхоналар ва соҳалар учун эмас, балки минерал ўғитлар, кальцинирланган сода, пластмассалар, маномерлар ва ҳоказо энг муҳим маҳсулот кўринишлари учун яратилади. Одатдаги лойиҳалаштиришга таққосланганда унинг ўзига хослиги ҳам шундадир.

Эталон лойиҳа тузиб чиқилишида у ёки бу маҳсулот олишнинг энг такомиллашган технологик схемаларидан фойдаланилади. Янгитдан ҳосил бўлувчи каби тўпланиб қолган чикиндиларни қайта ишлаш ҳам энг такомиллашган технологик жараёнлар ёрдамида амалга оширилиши лозим.

Циклнинг иқтисодий жиҳатдан баҳоланишида чикиндилар нархини аниқлаш муҳим аҳамиятга эга, чунки уларнинг қайта ишланишидан ҳосил бўлувчи маҳсулотнинг нархи шунга боғлиқдир.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришларнинг иқтисодий самарадорлигини баҳолашда мураккаб критерийдан (мезон) фойдаланилади, бундаги ҳар қайси ташкил этувчи элемент ишлаб чиқаришнинг бутун халқ хўжалигига кўрсатадиган таъсирининг маълум томонини тавсифлайди.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг абсолют иқтисодий самарадорлиги куйидаги тенглама бўйича аниқланади.

$\Sigma, \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5$  – чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг барча самараларининг йиғиндиси ( $\mathcal{E}_1$  – чиқитсиз ишлаб чиқаришнинг жорий этилишида ҳамда дастлабки хом ашёдан тўлиқроқ фойдаланишдан олинган охириги маҳсулот ишлаб чиқариш самараси;  $\mathcal{E}_2$  – чиқитсиз хом ашё жорий этилишидан ҳосил килинган охириги маҳсулотни истеъмол қилиш самараси;  $\mathcal{E}_3$  – алоҳида ресурсларни кидириш, казиб чиқариш ва ташишга бўлган харажатларнинг иқтисод қилиниши;  $\mathcal{E}_4$  – регионнинг комплекс тарзда ривожланиш самараси;  $\mathcal{E}_5$  – импортнинг қисқариши ёки хом ашё экспортининг ўсиши, унинг қайта ишланишидан ҳосил бўлувчи маҳсулот, охириги маҳсулотни ҳисобга олувчи ташқи савдо самараси;  $\gamma$  – ишлаб чиқариш ва истеъмол чикиндилар орқали атроф-муҳитнинг ифлосланишидан юзага келувчи зарарнинг миқдори;  $\mathcal{Z}_1$  – чиқитсиз хом ашёга бўлган тўлиқ харажатлар.



**ЧИҚИТСИЗ ИШЛАБ ЧИҚАРИШГА САРФЛАНУВЧИ КАПИТАЛ  
МАБЛАҒЛАРНИНГ САМАРАДОРЛИГИ**

Кўрсаткичлар	Вариантлар			
	1	2	3	4
Хом ашёдан фойдаланиш коэффиценти $K_{\phi}$	0,80	0,85	0,90	0,95
Товар маҳсулот олишга бўлган сарфлар шарт бир/йил: Жорий (с) Капитал (к)	0,80 0,75	0,82 0,90	0,84 1,10	0,87 1,30
Тайёр маҳсулотнинг чиқиши Т, %	100	105	110	117
Захарли моддаларнинг атроф-муҳитга таркалиши, В %	100	70	40	25
Атроф-муҳитнинг ишлаб чиқариш чикинди-лари орқали ифлосланишидан келувчи зиён $Y^*$ , шарт бир/йил	0,15	0,09	0,06	0,03
Қўшимча тарзда олинган товар, маҳсулотнинг истеъмол қилиниш самараси $\Xi^*$ истим	—	0,05	0,07	0,08
Хом ашё казиб чиқаришга бўлган сарфларнинг камайиш самараси $\Xi^*$ <small>кизишга</small>	—	0,01	0,02	0,03
Қуйдагилар бўйича ҳисобланган капитал маблағлар самарадорлик коэффиценти:				
Ишлаб чиқаришни амалга ошириш бўйича $\Xi_{\text{кп}}$	0,27	0,21	0,16	0,10
Халқ хўжалиги самарадорлиги бўйича $\Xi_{\text{хх}}$	0,066	0,105	0,109	0,104

\* товар маҳсулотнинг сўм/сўм ҳисобида

Чикитсиз ишлаб чиқаришнинг бир нечта вариантлари мавжуд бўлишида бир хил сарфлардаги абсолют иқтисодий самарадорликнинг максимал коэффиценти бўлган вариант танланиши лозим.

Кимё маҳсулотларидан бирининг чикитсиз ишлаб чиқарилишига бўлган капитал маблағлар самарадорлигини кўриб чиқамиз (6.2-жадвал).

Дастлабки хом ашё сарфи барча вариантларда бир хилда олинган.

Кўрсаткичларни таккослашдан кўринадики, хом ашё ва дастлабки маҳсулотлардан фойдаланиш коэффиценти биринчи вариантда 0,80 дан бошланиб, тўртинчи вариантда 0,95 гача бўлаяпти. Фойдаланиш коэффиценти сифатида бу ерда тайёр маҳсулот массасининг хом ашё ва дастлабки маҳсулотлар массасига бўлган нисбати қабул қилинган. Маҳсулот олишга бўлган жорий сарфлар сезиларсиз кўтарилади, бироқ капитал харажатлар 75 % га ортааяпти.

Кам чиқитли ишлаб чиқаришнинг жорий этилиши иккинчи вариантда тайёр маҳсулот чиқимини 5 % га кўпайтиради, тўртинчи вариантда эса 17 %. Заҳарли моддаларнинг ташланиши сезиларли равишда қисқаради, шунга мувофиқ атроф-муҳитга ташланмалардан юзага келувчи иқтисодий зарар камаяди. Дастлабки хом ашёдан тўлиқ фойдаланиш натижасида ишлаб чиқарилган кўшимча маҳсулот, унинг истеъмол қилинишидан ҳамда хом ашё қазиб чиқаришга бўлган сарфларнинг камайишидан самара ҳосил қилади.

Чиқитсиз ишлаб чиқаришга бўлган капитал маблағлар самарадорлиги қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланган

$$\mathcal{E} = (\mathcal{C} - \mathcal{C})/K$$

Бунда  $\mathcal{C}$  – маҳсулотнинг баҳоси;  $\mathcal{C}$  – маҳсулотнинг таннархи (жорий сарфлар);  $K$  – вариантларнинг бири бўйича капитал харажатлар.

Вариантларни таққослашдан кўринадики, дастлабки хом ашёдан қимматли компонентларни чиқариб олиш даражасининг кўпайиши, атроф-муҳитга ташланувчи чиқиндиларнинг камайиши, зарарнинг камайиши соҳа, корхона позициясидан кўриб чиқиладиган ишлаб чиқаришларнинг абсолют иқтисодий самарадорлиги пасаяди. Амалда мавжуд ҳисоблаш услубига мувофиқ, кўриб чиқиладиган вариантлардан соҳа учун энг маъқул келадигани – биринчи вариантдир, чунки унинг самарадорлик коэффиценти энг юқори  $\mathcal{E}_{кп} = 0,27$ . Халқ хўжалиги нуқтаи назаридан эса энг афзали учинчи вариантдир  $\mathcal{E}_{xx} = 0,109$ .

## 6.2. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИНГ ЭКОЛОГИК МУАММОЛАРИ

### 6.2.1. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг биосферага зарарли таъсирот турлари

Кимёвий корхоналар биосферани ифлослантирувчи асосий манбалардан биридир. Хилма-хил кимёвий моддалар ишлаб чиқаришнинг муттасил кўпайиши, одатда, зарарли чиқиндилар миқдорининг тегишли даражада ортиши билан боғлиқ ҳолда кечади. Натижада кимё ва нефт-кимё саноатининг чиқиндилари йилдан-йилга ортиб бормокда.

Кимёвий-технологик жараёнларда ҳосил бўладиган чиқиндилар атроф-муҳитни ифлослантирувчи энг жиддий манба ҳисобланади. Улар жумласига: ишлатиб бўлмайдиган қўшимча реакция ҳосиллари; чала ва ўта даражада ўзгариш ва полимерланиш маҳсулотлари, шунингдек, ишлатилган филтрлар; саноат оқава сувлари ва чиқётган газларни тозаловчи абсорбция курилмаларидан ажралган сувлар; оксидланиш жараёнларининг ишлатилган ҳавоси; реакцияга киришмаган газлар (хлор, аммиак ва бошқалар) ва ҳоказо.

Атроф-муҳитни кимёвий технология жараёнларида қўлланиладиган ёрдамчи моддалар ва материаллар ҳам ифлослантиради, шу жумладан: ишлатилган катализаторлар; адсорбентлар, абсорбентлар ва эритгичлар; қуритувчи бирикмалар; катализаторни қайта тиклаш ва маҳсулотлар пневмотранспортидан кейинги вакуум ҳосил қилишда аппаратлардан сўриб олинadиган газлар: қайта ишлатишга ярамайдиган идишлар, сузгич материаллар ва бошқалар.

Бундан ташқари, кимёвий корхоналарда асбоб-ускуна ва коммуникацияларнинг зич ёпилмаслиги сабабли хом ашё, оралик ва тайёр маҳсулотларнинг механик тарзда исроф бўлиши ҳам атроф-муҳитни ифлослантирувчи манбалар ҳисобланади.

Кимёвий корхоналарнинг оқава сувлари ҳам зарарли таъсир кучига эга. Асосий кимёвий корхоналар катта миқдорда сув истеъмол қилади: 1 т. сульфат кислота ишлаб чиқаришга 70 м<sup>3</sup> сув, 1 т. калциналанган содага – 115 м<sup>3</sup>, 1 т аммиакка – 800 м<sup>3</sup>, 1 т. акрилонитрилга – 1960 м<sup>3</sup>, 1 т. ацетиленга – 2800 м<sup>3</sup> сув сарфланади. Технологиянинг муттасил такомиллашиб бориши сувнинг солиш-



тирма сарфини анча камайтириш имконини беради. Эски нефтни қайта ишлаш заводларида 1 т. нефтга 7–8 м<sup>3</sup> сув сарфланса, замонавий корхоналарда бу кўрсаткич атиги 0,12–0,24 м<sup>3</sup>/т. ни ташкил этмоқда.

Кимё корхоналарининг оқава сувларида кўп миқдорда минерал ва органик аралашмалар бўлади. Ҳозирги вақтда саноатда оқава сувларни тозалашнинг хилма-хил самарали усулларидан фойдаланилади. Бироқ шуни назардан қочирмаслик керакки, оқава сувларни тозалаш очик сув ҳавзаларининг ифлосланишига барҳам беролмайди, зеро ҳатто тозаланган сувларни ҳавзага ташлаётганда ҳам унга кўплаб янги сув қўшишга тўғри келади. Акс ҳолда, табиий сув ҳавзалари кислородга камбағаллашиб ва бошқаларнинг яшаши учун яроксиз бўлган сувга айланади ва ана шу ифлослантирувчи моддалар бевосита одам ва ҳайвонлар организмга ўтиши мумкин.

Кўпгина газсимон кимёвий бирикмалар атмосферада сув буғлари, кислород ва қуёш реакцияси таъсирида бошқа, янада захарли моддаларга айланади ва атмосферада унинг таркибий қисмлари билан муайян мутаносибликда бўлади. Ҳар қандай ифлослантирувчи модданинг таъсири бевосита унинг кимёвий ва физик хусусиятларига боғлиқ бўлади.

Атмосферада азот оксидлари фақат NO ва NO<sub>2</sub> тарзидагина мавжуд бўлиб қолмай, балки аэрозол агломератлари ҳосил қилиб, сув томчиларига абсорбцияланувчи азот кислота, нитратлар ва органик нитробирикмаларга айланади. Атмосферада бошқа газсимон бирикмалар, шу жумладан, SO<sub>2</sub> нинг мавжудлиги атроф-муҳит таркибий қисмларининг янада мураккаб ўзаро таъсир механизмига олиб келади. Маълумки, ҳаво муҳитида углеводородлар ҳам бўлиб, улар HNO<sub>3</sub>, HCl, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> билан ўзаро боғланиши натижасида бир қатор зарарли ва захарли бирикмалар ҳосил қилади, яъни синергизм ҳодисаси – дастлабки у ёки бу ифлослантирувчи модданинг захарлилик таъсири кучаяди. Шунинг учун саноат чиқиндиларининг одам организмга ва жонли табиатга таъсири кўриляётганда атроф-муҳитда чиқиндилар айрим қисмларининг захарли, зарарли кимёвий бирикмаларга айланишининг барча мураккаб мажмуасини назардан қочирмаслик керак.

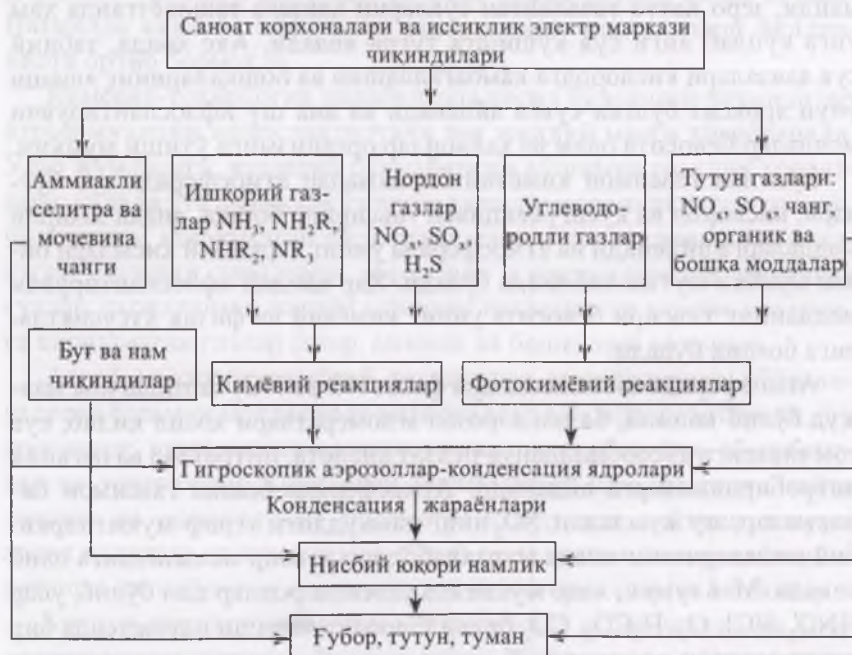
Мазкур саҳифадаги жадвалда нефт-кимё мажмуаси туманларидаги атмосфера ҳавосининг мураккаб ифлосланиш жараёнлари, шу



жумладан, чиқиндилар таркибий қисмларининг физик, кимёвий ва фотокимёвий ўзгаришлари акс эттирилган.

У ёки бу кимёвий чиқиндининг захарлилик даражасини аниқлаш учун баҳолашнинг умумий мезонларидан фойдаланилади:

- одамга кўра захарлилик, яъни бевосита одамлар саломатлиги-га қанчалик таъсир кўрсатиши;
- ҳайвонларга кўра захарлилик (уй ва ёввойи ҳайвонлар); парчаланаш маҳсулотларининг хусусиятлари (захарлилик, барқарорлик, биологик тўпланувчанлик); синергетик эффект.



6.4-расм. Нефт-кимё мажмуаси худудида туманларнинг ҳосил бўлиш схемаси.

Кимёвий чиқиндилар ўзининг атроф-муҳитга таъсирига кўра: **ўта захарли, захарли ва захарсиз (безарар) чиқиндиларга бўлинади.**

**Ўта захарли чиқиндилар** туркумига таркибида симоб, кўрғошин, кадмий, фосфорорганик моддалар, хлорланган эритгичлар, қалай, мишьяк, таллий, бериллий, хром, сурьма, цианид-

лар, фторхлоруглерод, дифениллар полихлоридлари, полициклик ва ҳушбўй углеводородлар, пестицидлар, шунингдек, радиоактив моддалар бўлган чиқиндилар киради.

**Заҳарли** моддалар жумласига атмосферага жоиз миқдордан анча кўп чиқариладиган олтингугурт ( $SO_x$ ), азот ( $NO_x$ ) ва углевод оксиди (CO) бирикмалари киради.

**Заҳарсиз** тоифага мансуб чиқиндилар (фосфогипс, галлитли чиқиндилар, фосфор ишлаб чиқариш тошқоллари, кальцийланган сода ишлаб чиқариш чиқиндилари ва ҳоказолар) киради ва улар ўзининг жойлаштирилиши учун улкан ер майдонларини талаб этади.

Мазкур чиқиндиларнинг табиатга салбий таъсири шундаки, улардан NaCl, фторли ва бошқа зарарли бирикмалар ажралиб чиқиб, юза ва сизот сувларга кириб боради.

Чиқиндилар таркибидаги кимёвий бирикмаларнинг одамга ва жонли табиатга таъсири ҳам бевосита, ҳам билвосита содир бўлади. Бевосита йўли – зарарли бирикмаларнинг инсон организмига ҳаво ҳамда ичимлик суви орқали киришидир. Билвосита йўли – биологик йўлдир. Бунда ифлослантирувчи моддалар дастлаб ҳайвонлар озикланадиган ўсимликларга сингийди, сўнгра овқат билан бирга киши организмига тушади. Бунда дастлабки бирикмалар организм учун у ёки бу даражада хавфли бўлган янги моддаларнинг ҳосил бўлишига олиб келадиган кимёвий-биологик ўзгаришларга учрайди.

Озик-овқат занжирларида (ёки овқатланиш занжирида – овқат-истеъмолчи нисбати жиҳатидан бир-бири билан боғлиқ бўлган организмлар силсиласида) тўпланиш хусусиятига эга бўлган бирикмалар айниқса хавфлидир.

Бирикмалар озик-овқат занжирининг исталган ерида – планктондан то киши организмигача бўлган ерларда (масалан, симоб, ДДТ йиғилиши), шунингдек, занжир орқали узатилиши мумкин.

Биосферага таъсир хусусиятига кўра кимёвий корхоналарнинг **чиқиндиларини ташкилий ва ноташкилий гуруҳларга бўлиш** мумкин.

Ташкилий гуруҳга махсус иншоотлар ёрдамида атмосфера, сув ҳавзалари ва тупроққа чиқариб ташланадиган чиқиндилар киради. Уларга сув тозалаш тизимлари, дудбуронлар, завод машъаллари, куйқум ва бошқа чиқиндилар, ёқиш печлари, вентиляция тизимла-

рининг қиска қувурлари, қуйқум майдончалари, лойқатўплагичлар ва ҳоказолар қиради. Бирлаштириш ва устки муҳитга буриб юбориш имкони бўлмаган чиқиндилар ноташкилий гуруҳга мансубдир. Аппаратлардан, трубопроводлардан ва арматуралардан сизадиган, канализация ва оқава сувларни тозалаш тизимларидаги оқава суюқликлар сатҳидан буғланиш, резервуар ва омборлардан маҳсулотларнинг буғланиши, таъмирлаш ишлари олиб боришдан олдин аппаратларни пуфлаб тозалаш ва буғлатиш вақтида маҳсулотларнинг оқиб кетиши ва атмосферадаги отилиб чиқиши шулар жумласидандир.

Ташкилий отқиндилар азотли, заҳарли таркибий қисмлар концентрациясининг юқорилиги билан ифлосланади. Замонавий кимёвий ва нефт-кимё корхоналарида отқиндилар ташкилий манбаларининг умумий сони 2000–4000 тани ташкил этади, улардан ҳар бирига махсус паспорт тузилади ва мазкур жой учун РЭТ (рухсат этилган ташлама) назорати олиб борилади.

Ноташкилий отқиндиларни завод ҳудуди ва санитария-ҳимоя зонасининг турли қисмларида вақт-вақти билан ёки муттасил аникланадиган чегаравий жоиз концентрация бўйичагина назорат қилиш мумкин.

Нефт-кимё корхоналаридаги мавжуд ҳар турли зарарли отқиндилар тавсифи 6.3-жадвалда келтирилган.

Отқиндилар, шунингдек, ҳажми, ҳарорати, таркиби, улардаги айрим инградиентларнинг нисбати, агрегат ҳолати, хавфлилик даражаси, концентрацияси, атроф-муҳитдаги барқарорлиги бўйича ҳам фарқланади. Зарарли инградиентларнинг атмосферада тарқалиш барқарорлиги ва хусусияти, шунингдек, уларни тутиш ва тозалаш усуллари агрегат ҳолатига боғлиқ.

6.3-жадвал

### НЕФТ-КИМЁ КОМБИНАТЛАРИ ОТҚИНДИЛАРИДАГИ ЗАРАРЛИ МОДДАЛАР

Отқиндилар	Угле- водо- родлар	H <sub>2</sub> S	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Фенол- лар	NH <sub>3</sub>	Чанг
Ташкилий: тугун газлари	–	10	18–92	80–89	46–64	10	–	50

Отқиндилар	Угле- водо- родлар	H <sub>2</sub> S	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Фенол- лар	NH <sub>3</sub>	Чанг
технологик (куйрук) газлар	0,6	51–66	7–50	11–19	36–54	15–73	24–78	89–100
вентиляция газлари	0,2	1–3	1 гача	0,01	0,1–	10–75	22–79	–
абсорбциядан сўнг	54	15–32	31	0,6	0,2	4	4	–
ноташкилий	45	23	–	–	–	–	–	–

### 6.2.2. Сув ресурслари ва кимёвий технология

Бу ўринда биз сув ресурсларига эътибор беришни лозим кўрдик, зеро сув ерда ҳаётнинг муҳим омилларидан биридир ва унга эътибор билан қараш лозим.

**Сув ресурслари.** Саноатнинг ривожланиши, қишлоқ хўжалигини саноат асосига ўтказиш, шаҳарларнинг ўсиши сув истеъмолининг муттасил ортишига олиб келади. Инсоният ҳар куни 7 миллиард тоннага қадар сув сарфлайдики, бу вазн жиҳатидан бир йилда қазиб олинadиган фойдали қазилмаларнинг умумий миқдорига тенг келади. Сувнинг асосий истеъмолчилари кимё, нефт-кимё, целлюлоза-қоғоз саноат тармоқлари, қора ва рангли металлургия, энергетика саноатлари, мелиорациясидир. 1985 йили собиқ иттифок ҳудудида турли мақсадлар учун 282 куб. км сув сарфланган, шунинг 80 куб. км саноат ўсишига тўғри келган. Сувдан мақсадли фойдаланиш таснифи ушбу саҳифада келтирилган (6.5-расм қаранг).

Техник сувнинг қуйидаги турлари мавжуд. **Совитувчи сув** иссиқлик алмашинув қурилмаларидаги суёқ ва газсимон маҳсулотларни совутиш учун хизмат қилади. Сув моддий оқимлар билан туташмайди.

**Технологик сув,** ўз навбатида, муҳитни шакллантирувчи, ювувчи ва реакцияга киришувчи сувларга бўлинади. Муҳитни шакллантирувчи сув маҳсулотларни ва ишлаб чиқариш чиқиндиларини бойитиш ва сув ёрдамида ташишда, эритиш ва пульпаларни (суспензияларни) ҳосил қилишда фойдаланилади; ювувчи сув газсимон





6.5-расм. Сувдан мақсадли фойдаланиш таснифи.

(абсорбция), суюқ (экстракция) ва каттик маҳсулотларни ювишда фойдаланилади; реакцияга киришувчи сув реагент сифатида, шунингдек, азеотроп ҳайдашда ишлатилади. Технологик сув бевосита жараён маҳсулотлари билан контактда бўлади.

**Энергетик сув** буғ олишда (буғ генераторларни тўйинтириш учун) ҳамда иссиқликни манбадан истеъмолчига узатишда (қайноқ сув) ишчи жисм сифатида ишлатилади.

Собиқ иттифок кимё саноати корхоналарида умумий сув истеъмоли йилига 9 куб. км ни ташкил этган. Мазкур тармоқ ишлатадиган сувнинг қарийб 74 фоизи технологик қурилмаларни совутиш учун фойдаланилади. Сувнинг қолган қисми, асосан, кимёвий реагент, экстрагент, абсорбент, эритувчи, реакция муҳити, ташувчи омил, қайта фойдаланиш қозонларида ичимлик суви вазифаларини бажариб, маҳсулот олишнинг технологик жараёнларида ишлатилади.

Нефтни қайта ишлаш ва нефт-кимё саноати корхоналарида сувнинг асосий қисми (90–95% га қадар) иссиқлик алмашинув

курулмаларида, қайта фойдаланиш қозонларида қайта ишланаётган маҳсулотларни совутиш ва конденсациялашда фойдаланилади. Сувнинг 5-10% мазкур корхоналарда эритувчи сифатида ёки маҳсулотни ювиш учун ишлатади.

**Сув ресурслари манбаи.** Гидросфера – дунё океани, атмосфера, дарёлар, қўллар, сизот сувларни ўз ичига олади. Гидросфера ҳажми 1389 миллион куб километрни ташкил этади. У тахминан ер қурраси юзасининг 3/4 қисмини ташкил этади – 449,59 млн кв. м (қуруқлик 165,34 млн кв. км).

Умумий сув миқдорининг 1350 млн куб. км (97,2% дан зиёди) – океан сувидир. Бошқа сув манбалари баланси қуйида келтирилган:

Қутб музликлари ва музлари	$29 \cdot 10^6$
Сизот сувлари	$9,7 \cdot 10^6$
Қўллардаги сув	$120 \cdot 10^3$
Дарёлардаги сув	$12 \cdot 10^3$
Тупроқдаги намлик	$24 \cdot 10^3$
Атмосферадаги намлик	$13 \cdot 10^3$
Жами	$39 \cdot 10^6 \text{ км}^3$

Саноат корхоналарини сув билан таъминловчи дастлабки манбалар юза ва сизот сувлардир. Юза сувларга дарёлар, қўллар, сунъий сув омборлари ва каналлар қиради. Саноат истеъмоли учун, биринчи навбатда, дарё сувларидан фойдаланилади, Россияда дарёлар оқими ҳажми қарийб 4000 куб км<sup>3</sup> ни ташкил этади.

**Сувнинг сифати ва унга бўлган талаблар.** Табиатдаги сув унча ҳам тоза эмас ва тегишлича қайта ишланмай саноатни сув билан таъминлашда фойдаланиб бўлмайди. 1 литр чучук сувда, одатда, 1 граммга яқин тузлар бўлади. Денгиз сувларида бу кўрсаткич юқорирок: Болтик денгизи сувида – 5 г/л, Қора денгиз – 18 г/л, океанда – 35 г/л. Чучук ва денгиз сувлари фақат тузларнинг умумий миқдорига кўра эмас, балки таркиби – уларда хлоридлар, сульфатлар ва карбонатларнинг нисбати бўйича ҳам фаркланади (%):

	Хлоридлар	Сульфатлар	Карбонатлар
Дарё суви	7	13	20
Океан суви	89	10	1

Дарё сувлари кам минераллашган (200 мг/л гача тузлар), ўртача минераллашган (200–500 мг/л), юкори даражали минераллашган (1000 мг/л дан зиёд). Россиядаги аксарият дарёлар суви дастлабки икки гуруҳга мансуб. Сув таркибида тузлар билан бир каторда муайян миқдорда мураккаб табиий органик бирикмалар—гумус моддалари ҳам бўлади. Бундай аралашмалар дарё сувларида 5–10 мг/л, кўл сувларида 150 мг/л гачани ташкил этади.

Сувларда кўпгина миқдорда қаттиқ аралашмалар, коллоид моддалар ва биологик тарздаги аралашмалар (микроорганизмлар, сув ўтлар ва бошқалар) мавжуд.

Сувдаги эриган кислород миқдори унинг ҳарорати ва сув муҳитида кечадиган реакциялар фотосинтез (кислород миқдори орта боради) ва органик ҳамда кимёвий ва микробиологик бирикмаларнинг оксидланиши (кислород миқдори камаё боради) бўйича аниқланади. 1 грамм курук органик моддага ўртача 1,5 грамм кислород сарфланади.

Сув таркибига боғлиқ равишда рН ўзгаради. Дарё ва кўллар учун бу кўрсаткич 5,0–8,5 доирасида ўзгариб туради.

Табиий сувларда эриган, шунингдек, муаллақ ҳолатдаги ҳар турли аралашмаларнинг мавжудлиги иссиқлик алмашинув қурилмалари ва буғ генераторлари сиртида чўкиндилар, қуйқалар ҳамда қуйқумлар ҳосил бўлишига олиб келадики, бу ҳолат коррозияга ва иссиқлик алмашинувининг ёмонлашувига сабаб бўлади. Сув таъминотининг айланма тизимлари иш шароитида сувнинг кўп маротаба 40–45°C ҳароратга қадар иситиб-совитилиши оқибатида углерод диоксиди йўқолиб, иссиқлик узаткичлар ва узатувчи қувурлар сиртида қуйидаги реакцияга мувофиқ кальций карбонат чўқади.



Бунга йўл қўймаслик учун турли ишлаб чиқариш циклларидаги сув йўқолишлари ўрни сифат жиҳатидан муайян техник талабларни қондирадиган махсус тайёрланган тўйинтирувчи сув билан қопланади. Қуйидаги жадвалда иссиқлик алмашинуви қурилмаларида маҳсулотларни совутишда фойдаланиладиган сув сифатининг асосий кўрсаткичлари келтирилган.

## СОВУТИШ ТИЗИМЛАРИДА СУВ СИФАТИ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Сифат кўрсаткичлари	Тавсия этилаётган миқдорлар			
	Россияда			АҚШда
	Сув геоилмий- текшириш институти	Азот саноати	Хлор саноати	
Харорат, °С	25–40	28–30	25–30	–
Қаттиқлик, мг-экв/л:				
Умумий	≤7	1,5–2,5	5,5	–
Карбонатли	≤2,5	1,5–2,5	≤3	2,5–5,0
Ишқорли, мг-экв/л	3–4	–	2,4	2,5
Тузларнинг умумий миқдори, мг/л	1300–2000	1200	800–1200	500
Перманганатли оксидланиш, мг-О <sub>2</sub> /л	≤20	515	8–10	–
Кислород кимёвий истеъмол- ли, мг-О <sub>2</sub> /л	≤200	–	70	75
Таркибидаги моддалар, мг/л: Муаллақ моддалар	≤50	20–30	10–20	5
Ёғлар ва ёғ ҳосил килувчи моддалар	≤20	0,3	0	–
Сирт-фаол моддалар	меъёрсиз	0	0	–
Cl анионлари (хлоридлар)	150–300	350 га	150–300	500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> анионлари (сульфатлар)	350–500	≤500	350–500	200
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> анионлари (фосфатлар)	–	≤6	1,5–9,0	–
Оғир металллар ионлари ҳи- собидаги азот бирикмалари	6	≤2,4	0,12–2,64	–
Эриган кислород	–	–	6–8	–
Қолдик фаол хлор	1,0 га кадар	–	1,0 га кадар	
РН	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5	6,5–8,5

Энерго ва технологик характерли буғ қозонлари, буғ генераторларининг тўйинтирувчи сувга бўлган талаблари қасмоқ ҳосил бўлиши ҳамда қизиш юзаси коррозиясини бартараф этиш заруриятдан келиб чиқади. Тўйинтирувчи сув сифатининг асосий кўрсаткичлари сирасига: рН қиймати, умумий қаттиқлик, кремний кислота, эриган кислород, эркин карбонат кислота, темир, мис ва бошқа бирикмалар миқдори киради. Тўйинтирувчи сув сифатида ишлаб чиқарилаётган сув буғи параметрларига боғлиқ (6.5-жадвалга қаранг).



## ТҮЙИНТИРУВЧИ ҚОЗОН СУВИ СИФАТИГА БЎЛГАН ТАЛАБЛАР

Сифат кўрсаткичлари	Козон турлари		
	Оташ қувури (0,5-1,5 Мпа)	Юқори босимли (5-10 МПа)	Тўғри оқимли (10-15 МПа) ва тўғри оқимли ўта критик босимли (21,5-30 МПа)
Умумий қаттиқлик, мг-экв/л	0,35	0,035	0,003
Аралашмалар миқдори, мг/л:			
Кремний диоксиди	Меъёрсиз	0,7	0,02
Мис	0,5	0,05	0,005
Марганец	–	–	–
Темир	1	0,05	0,01
Кислород	1	0,3	0,01
Нитратлар ва нитритлар	–	–	0,02
РН	8,9	8–10	7–8,5

Реагент, экстрагент, абсорбент ва ҳоказолар сифатида фойдаланиладиган сувга бўлган талаблар олиб борилаётган жараёнларнинг хусусиятларига боғлиқ бўлиб, муайян кимёвий ишлаб чиқаришларнинг технологик регламентларида кўрсатиб ўтилади.

Табиий сув ишлаб чиқаришда фойдаланишдан олдин аралашмаларнинг хусусиятларига ва сувга бўлган талабларга боғлиқ ҳолда турли усулларда тозаланади.

**Саноат учун сув тайёрлаш.** Саноат учун сув тайёрлаш сувни механик аралашмалардан, эриган тузлар ва газлардан тозалашни таъминловчи физик ва кимёвий тадбирлар мажмуасидан иборат. Унинг асосий жараёнлари: тиндириш ва филтрлаш, сувни юмшатиш ва тузсизлантириш, газсизлантириш, зарарсизлантириш ҳисобланади.

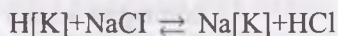
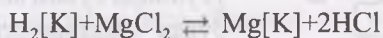
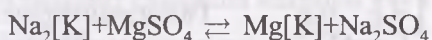
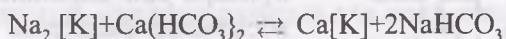
**Йирик зарраларни тиндириш** катта ҳажмдаги узлуксиз ишловчи тиндиргичларда амалга оширилади. Майда зарралардан эса филтрация ёрдамида халос этилади. Коллоид зарраларни (майда

балчик зарралари ва оксил моддалар) чўктириш учун улар сувга коагулянтлар-сульфатлар ёки алюминийнинг иккиламчи тузларини (алюминийли аччиктош) кўшиш йўли билан коагуляцияланади. Коагуляцияловчи ион зарядланган зарра сиртида адсорбцияланиш учун коллоид зарра заррасига қарама-қарши бўлган зарядга эга бўлиши керак; бу эса алоҳида зарраларнинг коагуляцияланишига (ёпишишига) ва чўкинди ҳосил бўлишига олиб келади.

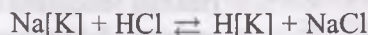
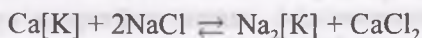
**Сувнинг юмшатилиши ва тузсизлантирилиши** сувни санотда магний тузлари ва бошқа материалларнинг сув таркибидан чиқарилишидан иборатдир. Сувни юмшатиш ва тузлантиришнинг физик (термик, дистилляция, музлатиш) ва физик-кимёвий (қайтарилма осмос ва ультрафилтрация, ион алмашинув) усуллари мавжуд.

Катионитларда (КУ-23, КУ-78) ва анионитларда (АВ-17-8, АВ-79П; АН-221) ион алмашинуви усули сув тайёрлашда жуда кенг қўлланади. Сувни юмшатишнинг катион жараёни асосини натрий ионлари ва катионитлар водородларининг  $\text{Ca}^{2+}$  ва  $\text{Mg}^{2+}$  га алмашиш реакцияси ташкил этади.

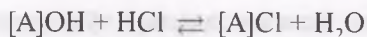
Натрий ионлари алмашинуви Na-катионлаш, водород ионлари алмашинуви эса H-катионлаш деб аталади:



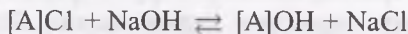
Ион алмашиш усулида сувни буткул тузсизлантиришга эришилади. Ион алмашинуви реакциялари қайтарилувчан бўлиб, ионитларнинг алмашинув қобилятини тиклаш ош тузи (Na-катионитлар) ёки минерал кислоталар (H-катионитлар) нинг эритмалари ёрдамида амалга оширилади:



Куйидаги тенглама бўйича OH- анионлар алмашинуви реакцияси анион алмашинувга мисол бўла олади:

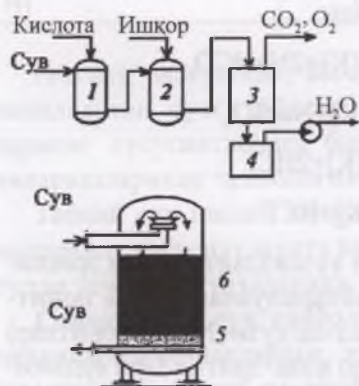
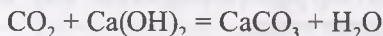


Анионитларни тиклаш ишқорлар эритмалари воситасида амалга оширилади:



Ион алмашинув (катионлаш ва анионлаш) усули воситасида сувни тузсизлантиришнинг энг муҳим схемаси эътиборингизга ҳавола этилган. Йирик кварц куми ёки майдаланган керамзит қатламида катионит қатлами жойлашган Н-катионит фильтрида сувдан дастлаб кальций, магний ва натрий ионлари йўқотилади. Кейин сув изчил тарзда анионларни йўқотиш учун анионит фильтрларга ҳамда эриган углерод диоксида ва кислород сувлари кетказиладиган дегазаторга келиб тушади.

**Газсизлантириш** кимёвий ва физик усулларда амалга оширилади.  $CO_2$  ни кетказиш учун сўндирилган оҳак тўлатилган фильтр орқали ўтказилади ёки сувга оҳак сути қўшилади:



6.6-расм. Ион алмашинувни қўллаб сувни тузсизлантирувчи фильтрла схема (катионит фильтри алоҳида кўрсатилган):

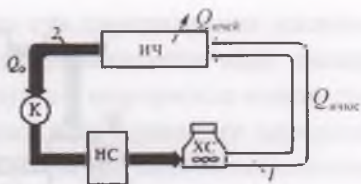
1 – катионит фильтри; 2 – анионит фильтри; 3 – дегазатор; 4 – сув йиғгич; 5 – кум; 6 – катионит.

Кислород эса сувнинг темир кункунлари ёки қириндилари қатлами воситасида фильтрлаб йўқотилади.

Газсизлантиришнинг физик усуллари сувни вакуумда ёки қайноқ бугда қиздиришдан иборат. Зарур ҳолларда касал тарқатувчи микробларни йўқотиш мақсадида зарарсизлантирилади, хлорлаб (газсимон хлор, хлорли оҳак ёки кальций гидрохлорати) органик аралашмалар оксидланади.

**Кимёвий ишлаб чиқаришларнинг қайтарма сувли цикллари.** Ишлаб чиқариш сув таъминоти тизимлари бирламчи сув манбаларидан юбориладиган сув бир марта фойдаланилганидан сўнг корхонадан

6.7-расм. Қайтарилма сув таъминотининг берк тизими: 1 – тоза сув; 2 – бирламчи ишлатилганидан кейинги сув; НС – насос станцияси. ИЧ – ишлаб чиқариш; К – қўшимча сув қабул қилиш ёки сув ташлаш камераси; ХС – ҳаво совуткич;  $Q_0$  – ишланган (окава) сув миқдори;  $Q_{\text{ичкис}}$  – ишлаб чиқаришга юбориладиган сув миқдори;  $Q_{\text{ичей}}$  – ишлаб чиқаришда йўқотилган сув миқдори.



ташқарига чиқариб юбориладиган тўғри оқимли тизимларга ҳамда ишлатилган сув совитилиб, тозаланиб, мазкур ишлаб чиқаришнинг ўзида янгитан ишлатиш учун қайтариладиган, яъни циклда (айланмада) бериладиган қайтарилма тизимларга бўлинади.

Тўғри оқимли сув таъминотининг жиддий камчилиги ишлатилган сувларнинг сув ҳавзаларига ташланиш заруриятидир. Бу тизимлар фақат эски корхоналардагина қўлланади.

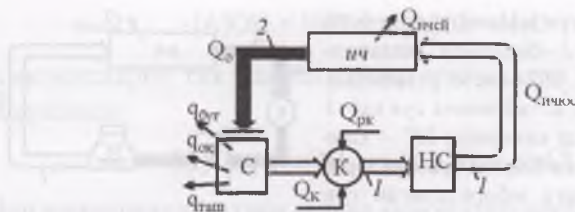
Қайтарилма сув таъминотида сув бирламчи манбадан циклда қайтмас даражада йўқотилган (буғланиш натижасида, тозалаш вақтида) сувнинг ўрнини қоплаш учунгина юборилади. Мазкур тизим сувни тозалаш ва қайта ишлаш, унинг сифатини яхшилаш масалаларини мақсадга мувофиқ равишда ҳал этиш имконини беради ва шу тарзда қурилманинг самарали ишлаши учун мақбул шароитлар билан таъминлайди.

Ишлаб чиқариш корхонасида айланма сув таъминоти схемаси сув ҳавзасидан сув қабул қилишни (сув олиш), уни керакли босимда зарурий миқдорда (насосли ва водопровод) истеъмолчиларга узатиш, тозалаш, қайта ишлаш ва совутишни (тозалаш қурилмалари) таъминловчи иншоотлар мажмуасини ўз ичига олади. Айланма сув таъминоти тизимлари берк, ярим берк ва аралаш тизимларга бўлинади.

**Берк тизимда** (6.7-расм) технологик оқимлар берк иссиқлик алмашинув қурилмаларида совутилади. Айланма сув берк қобирғали радиаторларда (радиаторли сув совутиш минорасида) совутилади.

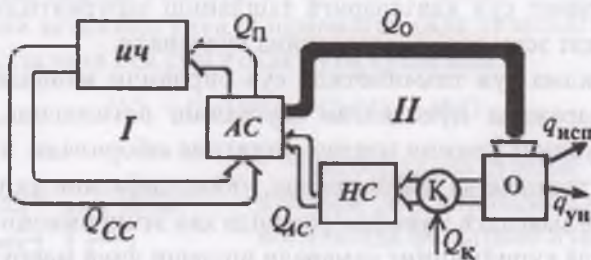
**Ярим берк тизимда** (6.8-расм) технологик оқимлар, шунингдек, берк иссиқлик алмаштиргичларда ҳам совутилади, лекин айланма сув сув совутиш минорасида совутилади.





6.8-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг ярим берк тизими:

1 – тоза сув, 2 – бирламчи ишлатилгандан кейинги сув, С – сув совутгич, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси,  $Q_{ичюс}$  – ишлаб чиқаришга бериладиган сув миқдори,  $Q_{ичсй}$  – ишлаб чиқаришда сув йўқотишлар,  $Q_0$  – ишланган (оқава) сув миқдори,  $q_{ок}$  – совуткичдан олиб кетиладиган сув миқдори,  $q_{отс}$  – совутгичда (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза) буғланишга сарфланадиган сув,  $q_{таш}$  – янгилаш (пуфлаш) учун тизимдан чиқариб юбориладиган сув миқдори,  $Q_к$  – тизимга қўшимча киритиладиган сув миқдори,  $O_n$  – сувни қайта ишлаш учун реагент киритиш.



6.9-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг аралаш тизими:

I – 4–15°C ҳароратли совутилган сув контури; II – айланма сув таъминоти контури, АС – аммиакли совутгичлар цехи, О–II – контур айланма суви совутгичи, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси,  $O_0$  – ишланган (оқава) сув миқдори,  $O_{ай}$  – айланма ишлаб чиқариш суви миқдори,  $Q_{ас}$  – аммиакли совуткич цехига юбориладиган айланма сув миқдори,  $O_{исп}$  – ишлаб чиқаришга юбориладиган сув миқдори,  $Q_к$  – тизимга қўшимча киритиладиган сув миқдори,  $q_{отт}$  – совутгичда буғланиш буйича сувни йўқотиш (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза),  $q_{отс}$  – совутгичдан олиб кетиладиган сув миқдори.

Айрим ишлаб чиқаришда технологик жараён шартларига кўра тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув талаб этилади. Бу ҳолда **аралаш тизим** (6.9-расм) қўлланиб, унда тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув берк иссиқлик алмашгичларда айланма сув ёрдамида совутилади, айланма сув эса сув совутиш минорасида совутилади (6.9-расм).

Сув совутиш минорасида айланма сув ҳароратининг пасайиши шамолпаррак ёрдамида ҳаракатлантириладиган ҳаво билан туташув туфайли юз беради. Сув совутгич минорасида сувни совутишнинг назарий эҳтимолий чегараси ҳўл термометр ҳарорати ( $t_x$ ) бўлиб, атрофдаги ҳаво ҳароратига ва унинг нисбий намлигига боғлиқ бўлади.

$t_x(t_{ху.л})$  микдорини аниқлашнинг диаграммалари мавжуд. Масалан, атрофдаги ҳаво ҳарорати  $30^{\circ}\text{C}$ , нисбий намлиги эса 60% бўлганида сув совутишнинг чегаравий ҳарорати  $t^{\circ}\text{C}=24^{\circ}\text{C}$ . Замонавий шамол парракли сув совутиш минораларида иситилган  $t_u$  ва совутилган сув ҳароратларининг фарқи  $\Delta t = t_u - t_{\text{совут}} = 6 \div 7^{\circ}\text{C}$ .

Айланма сув таъминоти тизимида сув совутиш минорасида буғланишга ( $V_1$  микдориди), совутовчи ҳаво билан томчилаб олиб кетишига ( $V_2$ ) ва пуфлаш чоғида ташлаб юборишга ( $V_3$ ) сарфланади. Ана шу сарфлар куйидаги микдорда қўшимча тўйинтирувчи сув ҳисобига қопланади.

$$V_{\text{кс}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Буғланиш туфайли йўқотиладиган сув микдорини куйидаги формула бўйича тақрибан аниқлаш мумкин:

$$V_1 = K_1 \Delta t V_0$$

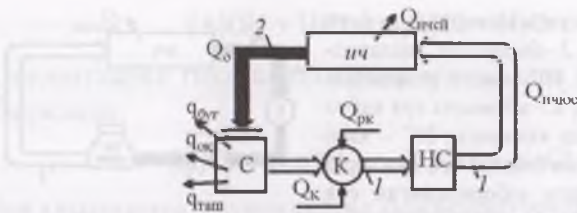
бунда  $K_1$  – ҳаво ҳароратига боғлиқ коэффицент,  $\Delta t$  – иситилган ва совутилган сув ҳароратларидаги фарк, даража,  $V_0$  – айланма сув сарфи, м<sup>3</sup>/сек.

$K_1$  коэффиценти сув совутиш миноралари учун куйидаги кийматларга эга:

Ҳаво ҳарорати, °С...	0	1,0	20	30	40
$K_1$ коэффиценти ...	0,0010	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016
Сачраш туфайли йўқотиладиган сув $V_2 = K_2 V_a$					

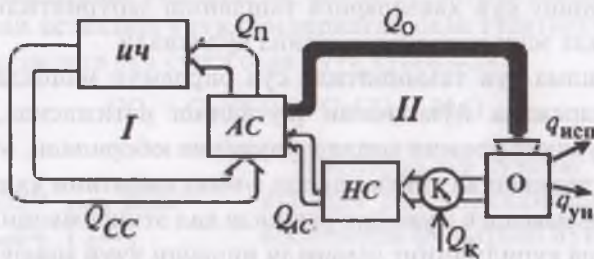
бунда  $K_2$  – сув тутгичли шамол парракли сув совутиш миноралари учун тенг бўлган коэффиценти 0,002–0,005.

$V_3$  тизимида пуфлашга сарфланадиган сув микдори айланма сув таъминоти тизимининг иш унумига, қўшимча сувнинг карбонат каттиклигига, сувни қайта ишлаш усулига боғлиқ бўлиб, айланма сув сарфининг 1–3 фоизини ташкил этади.



6.8-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг ярим берк тизими:

1 – тоза сув, 2 – бирламчи ишлатилгандан кейинги сув, С – сув совутгич, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси,  $Q_{\text{очсв}}$  – ишлаб чиқаришга бериладиган сув миқдори,  $Q_{\text{ичсв}}$  – ишлаб чиқаришда сув йўқотишлар,  $Q_0$  – ишланган (оқава) сув миқдори,  $q_{\text{ок}}$  – совуткичдан олиб кетиладиган сув миқдори,  $q_{\text{огт}}$  – совутгичда (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза) буғланишга сарфланадиган сув,  $q_{\text{пфл}}$  – янгилаш (пуфлаш) учун тизимдан чиқариб юбориладиган сув миқдори,  $Q_{\text{к}}$  – тизимга қўшимча киритиладиган сув миқдори,  $Q_{\text{а}}$  – сувни қайта ишлаш учун реагент киритиш.



6.9-расм. Ишлаб чиқаришни сув билан таъминлашнинг аралаш тизими:

I – 4–15°C ҳароратли совутилган сув контури; II – айланма сув таъминоти контури, АС – аммиакли совутгичлар цехи, О-П – контур айланма суви совутгичи, ИЧ – ишлаб чиқариш, НС – насос станцияси, К – қўшимча сув олиш ёки сув ташлаш камераси,  $Q_0$  – ишланган (оқава) сув миқдори,  $Q_{\text{ав}}$  – айланма ишлаб чиқариш суви миқдори,  $Q_{\text{ас}}$  – аммиакли совуткич цехига юбориладиган айланма сув миқдори,  $Q_{\text{ич}}$  – ишлаб чиқаришга юбориладиган сув миқдори,  $Q_{\text{к}}$  – тизимга қўшимча киритиладиган сув миқдори,  $q_{\text{огт}}$  – совутгичда буғланиш буйича сувни йўқотиш (сув совутиш минораси, сув сачратувчи хавза),  $q_{\text{ок}}$  – совутгичдан олиб кетиладиган сув миқдори.

Айрим ишлаб чиқаришда технологик жараён шартларига кўра тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув талаб этилади. Бу ҳолда **аралаш тизим** (6.9-расм) қўлланиб, унда тузсизлантирилган ёки юмшатирилган сув берк иссиқлик алмашгичларда айланма сув ёрдамида совутилади, айланма сув эса сув совутиш минорасида совутилади (6.9-расм).



Сув совутиш минорасида айланма сув ҳароратининг пасайиши шамолпаррак ёрдамида ҳаракатлантириладиган ҳаво билан туташув туфайли юз беради. Сув совутгич минорасида сувни совутишнинг назарий эҳтимолий чегараси ҳўл термометр ҳарорати ( $t_x$ ) бўлиб, атрофдаги ҳаво ҳароратига ва унинг нисбий намлигига боғлиқ бўлади.

$t_x(t_{x_{\text{ҳўл}}})$  миқдорини аниқлашнинг диаграммалари мавжуд. Масалан, атрофдаги ҳаво ҳарорати  $30^\circ\text{C}$ , нисбий намлиги эса  $60\%$  бўлганида сув совутишнинг чегаравий ҳарорати  $t^\circ\text{C}=24^\circ\text{C}$ . Замонавий шамол парракли сув совутиш минораларида иситилган  $t_u$  ва совутилган сув ҳароратларининг фарқи  $\Delta t = t_u - t_{\text{совут}} = 6 \div 7^\circ\text{C}$ .

Айланма сув таъминоти тизимида сув совутиш минорасида буғланишга ( $V_1$  миқдориди), совутувчи ҳаво билан томчилаб олиб кетишига ( $V_2$ ) ва пуфлаш чоғида ташлаб юборишга ( $V_3$ ) сарфланади. Ана шу сарфлар қуйидаги миқдорда қўшимча тўйинтирувчи сув ҳисобига қопланади.

$$V_{\text{кс}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Буғланиш туфайли йўқотиладиган сув миқдорини қуйидаги формула бўйича тақрибан аниқлаш мумкин:

$$V_1 = K_1 \Delta t V_0$$

бунда  $K_1$  – ҳаво ҳароратига боғлиқ коэффициент,  $\Delta t$  – иситилган ва совутилган сув ҳароратларидаги фарқ, даража,  $V_0$  – айланма сув сарфи,  $\text{м}^3/\text{сек}$ .

$K_1$  коэффициенти сув совутиш миноралари учун қуйидаги қийматларга эга:

Ҳаво ҳарорати, $^\circ\text{C}$ ...	0	1,0	20	30	40
$K_1$ коэффициенти ...	0,0010	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Сачраш туфайли йўқотиладиган сув  $V_2 = K_2 V_a$

бунда  $K_2$  – сув тутгичли шамол парракли сув совутиш миноралари учун тенг бўлган коэффициент  $0,002-0,005$ .

$V_3$  тизимида пуфлашга сарфланадиган сув миқдори айланма сув таъминоти тизимининг иш унумига, қўшимча сувнинг карбонат қаттиқлигига, сувни қайта ишлаш усулига боғлиқ бўлиб, айланма сув сарфининг  $1-3$  фоизини ташкил этади.



Айланма сув таъминоти тизимининг самарадорлиги икки кўрсаткич бўйича аниқланади:

Айланма сувдан фойдаланиш коэффиценти бўйича

$$K_a = V_a / (V_a + V_{кc})$$

кўшимча (янги сувдан фойдаланиш коэффиценти бўйича)

$$K_{кc} = (V_{кc} - V_{oc}) / V_{кc}$$

бунда  $V_a$  – айланма сув миқдори, м<sup>3</sup>/соат,  $V_{кc}$  – кўшимча сув миқдори, м<sup>3</sup>/соат,  $V_{oc}$  – сув ҳавзасига ағдариладиган оқава сув миқдори (пуфлаш), м<sup>3</sup>/соат,  $V_a + V_{кc}$  – сарфланадиган сувнинг умумий миқдори, м<sup>3</sup>/соат.

Кимё саноати корхоналарида, умуман, айланма сувдан фойдаланиш коэффиценти  $K_{ан} = 0,83$  миқдорига етади, илғор нефтни қайта ишлаш ва нефт-кимё корхоналарида  $K_{ан} = 0,9 \div 0,95$  дан иборат бўлади.

Мавжуд технология даражасидан келиб чиққан ҳолда айланма сувдан фойдаланишнинг энг юқори коэффицентини аниқлаш мумкин. Фойдаланилган сувнинг қарийб 25% эриткич ва экстрагент сифатида фойдаланиладиган кимё саноатида бундай коэффицент 0,90–0,92 га тенг келади.

Кимё саноатида ҳатто сувдан такрорий фойдаланганда ҳам янги сув сарфи миқдоран катта бўлиб, ўртача 1 т маҳсулот ҳисобига 50–130 м<sup>3</sup> ни ташкил этади. Шунинг учун кимёвий технологиянинг энг асосий вазифалардан бири – сувдан айланма ва такрорий фойдаланиш, сувни тежовчи (оқмас) технологияга ўтиш тизимларини жорий этиш йўли билан ишлаб чиқариш корхоналарининг сув истеъмолини янада камайтиришдир.

**Оқимсиз кимёвий ишлаб чиқариш корхоналари.** Оқава сувлари сув ҳавзаларига ташланмайдиган, янги сувдан фойдаланиш коэффиценти бирга тенг бўлган сув таъминотининг берк тизимлари фаолият кўрсатадиган корхоналари оқимсиз кимёвий ишлаб чиқариш корхоналари жумласига киради.

Кимё корхоналарида сув таъминотининг берк тизимларини яратишда қуйидаги қондаларга амал қилиш лозим:

1. Корхонанинг сув таъминоти ва канализациясига сув таъминоти, оқава сувларни тозалашни ўз ичига олувчи ҳамда улардан қайта

фойдаланишни таъминловчи ягона қуйи тизим сифатида қаралиши зарур;

2. Сув таъминоти тизимида сувнинг асосий манбаи тозаланган оқова сувлар бўлиши, сув манбаларидан олинадиган янги сувдан эса фақат алоҳида мақсадларда ва маҳаллий тизимлардаги исроф бўлган сув ўрнини тўлдириш учунгина фойдаланилиши керак;

3. Оқова сувларни тозалаш улардан ишлаб чиқариш корхоналарида такрорий фойдаланиш мақсадида технологик сув таъминотининг маҳаллий тизимларида ишлатилган технологик эритмалар ва сувни тиклашга асосланмоғи лозим.

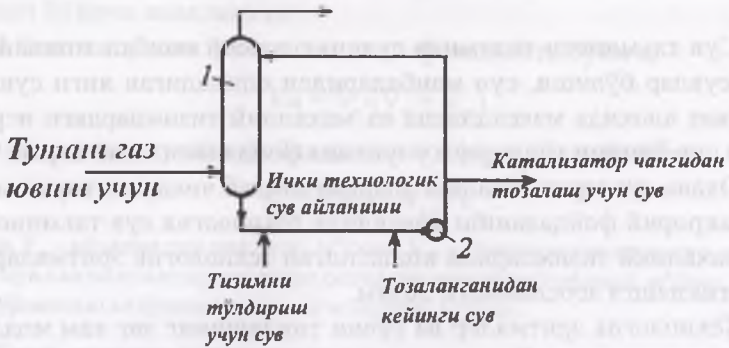
4. Технологик эритмалар ва сувни тиклашнинг энг кам моддий хамда энергетика сарфлари даражасида айни бир вақтда қимматли компонентларни ажратиб олиш ва ҳосил бўлган чиқиндиларни товар маҳсулоти ёки иккиламчи хом ашё даражасига етказишни таъминлайдиган усуллардан фойдаланиш даркор.

Ички технологик циклда сув қайта ишланаётган маҳсулотлар билан бевосита туташади. Айланиб юрувчи сувни тозалаш технологик қурилмаларнинг давоми бўлган маҳаллий тозалаш иншоотларида амалга оширилади. Маҳаллий қурилмаларда, одатда, тозаланмасдан такрорий ёки айланма сув таъминоти тизимларига ёхуд умумзавод тозалаш иншоотларига юбориб бўлмайдиган оқова сувлар тозаланади. Мазкур қурилмаларда тозалашнинг тиклаш усуллари: тиндириш, флотация, адсорбция, ион алмашинуви, қайта осмос ва ҳоказолардан фойдаланган ҳолда оқова сувлардан қимматли аралашмалар ажратиб олинади. Айрим ҳолларда маҳаллий қурилмаларда оқова сувлар термик зарарсизлантирилади.

Ички технологик сув айланиш тизими қўшимча капитал ва ишлатиш сарфларини талаб этади. Бироқ бундай сарфлар сувни саноатда ишлатишга тайёрлаш ва қимматли компонентларни ажратиб олишга сарфланадиган умумий маблағларни камайтириш ҳисобига қопланади.

Эътиборингизга ҳавола этилаётган чизмада катализатор чангидан ювиш ва изопентанни дигидрирлаш қурилмасида туташ газни совутиш жараёнида ички технологик сув айланиш схемаси (6.10-расм) келтирилган. Сув циклини ташкил этишнинг бундай схема-

Қайта ишлаш учун газ



6-10-расм. Ички технологик сув айланиш схемаси:

1—газ тозалаш скруббери, 2—циркуляцияловчи насос.

лари газларни тозалашнинг скруббер қурилмаларидан фойдаланиладиган ишлаб чиқаришлар учун хосдир.

Ҳаво таъсирида совутиш усули оптимал қўлланган шароитда айланма сув таъминотидан энг юқори даражада фойдаланиш принципи оқимсиз нефтни қайти ишлаш заводлари схемаси-



6.11-расм. Нефтни қайта ишлаш заводларида сувдан фойдаланиш схемаси (рақамлар м<sup>3</sup>/соат ҳисобидаги сарфни кўрсатади).

нинг негизини (6.11-расм) ташкил этади. Ана шу заводларда нефт маҳсулотларини олтингугуртли бирикмалардан тозалаш тикловчи реагентлар ёрдамида амалга оширилади. Карбонлаш қурилмасида зарарсизлантирилгандан кейин олтингугуртли ишқорий-оқава сувлар ЭЛТҚ (электр тузсизлантирувчи қурилма) оқимлари билан биргаликда термик тузсизлантириш учун юборилади. Тузсизлантирилгандан кейин ҳосил бўлган сувли конденсат айланма сув циклига йўналтирилади. Бугланиш колдигидан донатор техник натрий хлорид ( $\text{NaCl}-80\%$ ) ажратиб олинади ва ундан  $\text{Na}$ -катионит фильтрларни тиклашда фойдаланилади.

Технологик сув айланиш тизимида сувнинг доимий туз таркиби оқава сувларни тозалаш тизимида термик тузсизлантириш қурилмасига сувнинг бир қисмини чиқариш ва тозаланган сувни технологик қурилмаларга қайтариш ҳисобига сақлаб турилади. Нефтни қайта ишлаш заводларида оқимсиз схемаларни (6.6-жадвал) жорий этиш  $1 \text{ м}^3$  оқава сувларга ажратиладиган солиштирма капитал маблағларни ва тозалаш иншоотлари қурилиш таннархини  $1,5-2$  марта камайтиради ва сув ҳавзалари ифлосланишининг олдини олади.

6.6-жадвал

### НЕФТНИ ҚАЙТА ИШЛАШ ЗАВОДЛАРИДА ТОЗАЛАШ ИНШООТЛАРИНИ ИШЛАТИШНИНГ ТЕХНИК-ИҚТИСОДИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

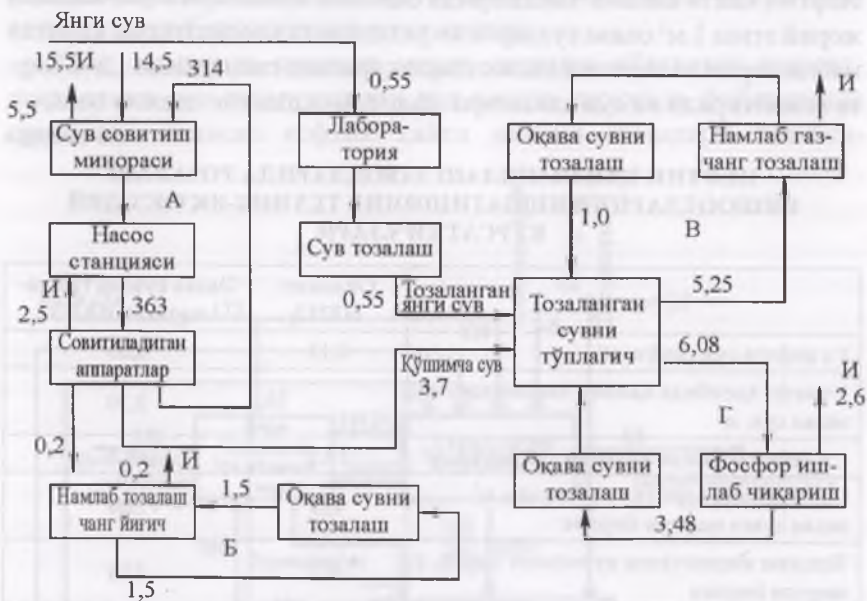
Кўрсаткич	Оқимсиз НҚИЗ	Оқава сувлар ташла- надиган НҚИЗ
1 т нефтга сув сарфи, $\text{м}^3$	0,13	0,26
1 т нефт ҳисобида ҳавзага ташланадиган оқава сув, $\text{м}^3$	—	0,30
1 т нефт ҳисобида айланма сув сарфи, $\text{м}^3$	13,2	16,5
Солиштирма капитал маблағлар, $\text{м}^3$ оқава сувга шартли бирлик	489	500
Тозалаш иншоотлари қурилиш нархи, шартли бирлик	9,3	17,4
$1 \text{ м}^3$ оқава сувни тозалаш таннархи, шартли бирлик	0,26	0,18

Термик тузсизлантириш, нефт тошқолларини термик қайта ишлаш ва олтингугуртли-ишқорий оқава сувларни карбонлаштиришга



ишлатиладиган фойдаланиш сарфлари ҳисобига оқимсиз схемада оқава сувларнинг  $1 \text{ м}^3$  ини тозалаш таннархи оқимли схемадагига нисбатан юкори (6.6-жадвал). Бирок айланма сув сарфининг камлиги ва оқава сув ташланмаслиги сабабли оқимсиз схемада сув тозалаш сарфи оқимли схемадаги сарфи оқимли схемадаги шундай сарфлардан оз фарқ қилади.

Фосфор ишлаб чиқариш дарёлар ва сув ҳавзаларини ифлослантирмайдиган оқимсиз технологияга мисол бўлади. Мавжуд маълумотлар шундан далолат берадики, фосфор ишлаб чиқарадиган заводлар оқаваларини тозалашнинг самараси кам ва сув ҳавзаларини ифлосланишдан ҳимоя қила олмайди. Айни вақтда оқава сувлардаги эриган аралашмалар технологик жараёнларга ва ишлаб чиқариш маҳсулотларига салбий таъсир кўрсатмаслиги маълум, кўрсатиб ўтилган хусусиятлар оқимсиз ишлаб чиқариш учун асос бўлиб хиз-



6.12-расм. Оқимсиз фосфор ишлаб чиқаришда сув оқимлари ва сув айланиши схемаси (рақамлар  $\text{м}^3/\text{соат}$  ҳисобидаги сарфни кўрсатади).

А – аппаратларни совитишнинг айланма тизими; Б – намлаб чанг тозалашнинг айланма тизими; В – газ-чанг тозалашнинг айланма тизими; Г – сувнинг ички технологик цикли; И – буғланиш, олиб кетилишлар билан боғлиқ сув исрофлари.



Сувдан фойдаланишнинг мажмуавий схемаси (6.13-расм) барча йирик ишлаб чиқаришларда: таркибидаги ифлосликлар миқдорига боғлиқ равишда ишлаб чиқаришда такрорий фойдаланиш мақсадида тегишлича тозалашдан ўтадиган, ҳосил бўлган чиқиндилар эса товар маҳсулоти сифатида қайта ишланадиган умумий иншоотлар ва қурилмалардан иборат зарурий маҳаллий тозалаш қурилмаларига эга бўлган маҳаллий айланма сув цикллари ўз ичига олади. Саноат мажмуасида сувдан фойдаланиш самарадорлиги куйида келтирилган кўрсаткичларда ўз ифодасини топган:

	Оқимсиз схема	Оддий схема
Янги дарё суви сарфи, м <sup>3</sup> /сут	30	176
Шу жумладан, кимё комбинатида	4,5	150
Умумий сув айланиши, минг м <sup>3</sup> /сут	688	688
Оқава сувларни дарёга ташлаш, минг м <sup>3</sup> /сут	–	139,3
Оқава сувларни ишлаб чиқаришга қайтариш	95,7	71,5

### 6.2.3. Кимё саноати чиқиндилари ва уларни зарарсизлантириш усулларининг таснифи

Кимё саноати агрегат ҳолати бўйича таснифланадиган улкан миқдордаги ҳар турли чиқиндиларни ҳосил қилади.

**Қаттиқ чиқиндилар** – қуқун, чанг, қуйма ёки қотиб қолган масса тарзида ҳосил бўладиган чиқиндилардир. Бу туркумга қуйиндилар, қул, чанг ва қурум зарралари, пластмасса ва резина чиқиндилари, ишлатилган катализаторлар, маъданлар бойитилгандан кейинги қолдиқлар, қаттиқ органик қолдиқлар, адсорбентлар, нокондицион маҳсулотлар (каучук, тола) ва бошқалар мансубдир.

Қаттиқ чиқиндиларни қайта ишлаш усулларини танлашда уларнинг таркиби ва миқдори муҳим аҳамият касб этади. Катта миқдордаги қаттиқ чиқиндилар аралашмаларини мажмуага оид қайта ишлаш бўйича кучли қурилмалар яратиш билан боғлиқ ғоялар устунлик қилади. Ғишт, керамзит, цемент ва бошқалар олиш, қурилиш материаллари саноати агрегатларида қаттиқ чиқиндилардан фойдаланиш кенг кўлам касб этади.



Суюк чиқиндилар асосан суюк муҳитдан иборат бўлиб, уларда сувда ёки бошқа эритувчиларда эриган тузлар, ишкорлар, кислота-лар, шунингдек, муаллақ зарралар аралашмалари микдори, одатда, уларнинг чуқиши бошланадиган даражадан ортиқ бўлмайди. Суюк чиқиндилар ҳаракатчан бўлиб, уларни кимё саноатида қўлланадиган насослар ёрдамида ташиш мумкин. Эрийдиган моддалар концен-трацияси мақбул шароитларда эритмада уларнинг кристалланиши бошланадиган микёсдан ортиб кетмаслиги керак.

Чиқиндиларнинг мазкур гуруҳига, аввало, заҳарли бирикмалар билан ифлосланган ва махсус ишлов беришни талаб этувчи ишлаб чиқаришнинг оқова сувлари (таркибида кислота, ишқор, хлоридлар-фторидлар, бромидлар, эриган материаллар, заҳарли органик модда-лар ва ҳоказолар бўлган сувлар); ишланган органик эритувчилар ва суюқликлар киради. Айрим ҳолларда оз микдордаги аралашмалар билан ифлосланган бирон-бир маҳсулот ҳам суюк чиқинди бўлиши мумкин. Шундай чиқиндилар жумласига таркибида оксидланиш, полимерланиш маҳсулотлари ва механик аралашмалар бўлган иш-ланган ёғлар киради.

Суюк чиқиндилар кимёвий технологиянинг кўплаб оддий жа-раёнлари: адсорбция, чуқтириш, филтрлаш, дистиллаш, ректи-фикациялаш, экстракция, буғлатиш, кристаллаш, термик ишлов бериш, кимёвий қайта ишлаш воситасида қайта ишланади. Баъзан суюк чиқиндилар кўп таркибли аралашмадан иборат бўлиб, уларни ажратиш мумкин ва иктисодий жиҳатдан ўзини оқламайди. Бун-дай ҳолларда чиқиндилар ёндириб юборилади ёки ер қобиғининг чуқур сингдирувчи қатламларига ҳайдалади.

Чиқиндиларнинг тўлиқ ёнишини таъминлаш ва ёниш чоғида ажралиб чиқадиган иссиқдан юқори даражада фойдаланиш чиқиндиларни ёндириш курилмаларини ишлаб чиқишда энг муҳим муҳандислик вазифаси ҳисобланади. Термик ишлов бериш усулла-рининг энг муҳим афзаллиги – технологиянинг нисбатан содда-лиги, камчилиги эса чиқинди массасидаги мавжуд бўлган барча моддаларни (жумладан, фойдалиларини ҳам) йўқотиб юборишдир. Шунинг учун термик қайта ишлашда чиқиндиларнинг ёниш чоғида чиқадиган иссиқлигидан фойдаланиш мумкин.



Таркибида галогенлар, фосфор, олтингугурт, азот бирикмалари бўлган органик чиқиндиларни термик зарарсизлантиришда жараён анча мураккаблашади. Бунда уларнинг ёнишидан ҳосил бўлган маҳсулотларда хлороводород, олтингугурт ва азот оксидлари тўпланиши мумкин, шу сабабли газларни атмосферага чиқариш олдидан тозалаш зарурияти туғилади.

**Газсимон чиқиндилар** саноат печлари, шамолпаррак қурилмалари, қуритгичларнинг газ отқинларини, технологик қурилмаларнинг ҳар турли кетувчи газларини ўз ичига олади. Мазкур гуруҳга буғ генераторлар ва печларнинг ёниш маҳсулотлари (тутун газлари); ўткир хидли, таркибида дисперс каттиқ зарралар (чанг) ёки туман тарзидаги суюқ зарралар, шунингдек, таркибида  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ , органик моддалар буғлари ва ҳоказолар; заҳарли аралашмалар билан ифлосланган буғ ҳаво аралашмалари мансубдир.

Газлардан фойдали таркибларни ажратиб олиш ёки зарарсизлантириш учун кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари, шу жумладан, абсорбция, адсорбция, чўктириш, филтрлаш, термик қайта ишлаш, хемосорбция қўлланади. Газсимон чиқиндиларни термик қайта ишлаш газда мавжуд бўлган органик аралашмаларни  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  зарарсиз ёниш маҳсулотлари қолғунига қадар ёндиришдир. Мазкур усулларнинг камчилиги газ таркибидаги мавжуд барча органик моддаларнинг йўқотиб юборилишидир. Шунинг учун бу усул моддаларни ажратиб олиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлмаган ҳоллардагина қўлланади.

Айрим маҳсулотлар ишлаб чиқаришда кетувчи газлар углеводородлар аралашмасидан иборат бўлади. Бундай аралашмаларни ажратиб олиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ бўлмаган шароитларда улардан иккиламчи энергетика ресурсларининг ёкилғиси сифатида фойдаланилади.

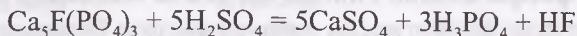
Тўғридан-тўғри ёқиб юбориш усулидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан самарасиз бўлган ҳолларда газсимон чиқиндиларда ёнувчи таркиблар миқдоран кам бўлганда **каталитик ёндириш** усули кенг қўлланади. Каталитик ёниш жараёни бевосита ёндириладиган  $950\text{--}1110^\circ\text{C}$  ўрнига  $200\text{--}600^\circ\text{C}$  ҳароратда ҳаракатсиз ёки қайновчи қатлами бўлган катализаторли реакторларда кечади.

**Қуйқумлар** (шламлар) – таркибида 20–80% сув бўлган ва қуритиш, филтрлаш, музлатиш ва бошқа усуллар ёрдамида дастлабки ишлов берилмаган тақдирда ташиш қийин бўлган аморф ёки майда кристалли массадан иборат. Чикиндиларнинг мазкур гуруҳига филтрлаш ва чуқтириш жараёнлари қолдиқлари; суюқ чикиндиларни нейтраллаш ёки уларни махсус ишлашдан ҳосил бўладиган қуйқум; оқава сувларни биокимёвий тозалаш жараёнида ҳосил бўладиган қуйқумлар ва лойқалар мансубдир. Катрон, нордон ва ёпишқоқ гудронлар, нефтни қайта ишлашдан ҳосил бўладиган қолдиқ нефт маҳсулотлари, нефт қуйқумлари шу туркумга киради. Қуйқумли чикиндиларни қайта ишлашда филтрлаш, центрифугалаш, қуритиш, термик зарарсизлантириш, ёндириш жараёнларидан фойдаланилади. Таркибида органик ва ёнувчи моддалари бўлган қуйқумларни ёндирганда юқори потенциалли иссиқлик ажралиб чиқадики, одатда ундан фойдаланилади. Қайта ишлаш усулларида қай бирини танлаш қуйқумнинг сифати ва ундаги мавжуд туркумларнинг тузилишига боғлиқ.

#### **6.2.4. Қаттиқ чикиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш**

Кимё ва нефт кимёси саноатида ўзининг келиб чиқиши ва таркиби бўйича фарқланувчи кўплаб қаттиқ чикиндилар ҳосил бўлади. Ана шу чикиндилар ниҳоятда хилма-хиллигидан улардан фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантиришнинг умумий схемасини тавсия этишнинг имкони йўқ, шунинг учун кўп тоннали ишлаб чиқариш чикиндиларига татбиқан асосий усулларни кўриб ўтамыз.

**Фосфогипсни фойдаланишга тиклаш.** Фосфогипс табиий фосфатлардан фосфат кислота ишлаб чиқаришда чикинди сифатида ҳосил бўлади. Фосфатлар сульфат кислота билан парчаланганда фосфат кислота эритмага айланади ва қийин эрийдиган кальций сульфат (фосфогипс) ҳосил бўлади:



Олинадиган кислотанинг ҳарорати ва концентрациясига боғлиқ равишда кальций сульфат дигидрат  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс), ярим

гидрат  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  ёки сувсиз туз  $\text{CaSO}_4$  (ангидрит) шаклида бўлади. Дигидрат усулида экстракциявий фосфат кислота олишда дигидрит ҳисобида 7,5–8,4 тонна нам фосфогипс ҳосил бўлади. Фосфогипс (курук модда ҳисобида) 94% га қадар  $\text{CaSO}_4$ , шунингдек, парчаланмаган фосфат аралашмалари, ювилмаган фосфор кислота, темир, алюминий оксидлари, стронций бирикмалари, турли микроаралашмалар (сийрак ер элементлари, Mo, Co, Mn, Zn), фтор бирикмалари ва ҳоказолар бўлади.

Фосфогипсдан курилишда табиий гипс ўрнида бевосита фойдаланишга ҳалал берадиган асосий аралашмалар фтор ҳамда  $\text{P}_2\text{O}_5$  бирикмалардир. МДХ мамлакатларида, шу жумладан, Россияда ҳозирги вақтда уюлмаларда 400 млн т. дан зиёд фосфогипс мавжуд ва ҳар йили ана шу чиқиндидан қарийб 10 млн т. ҳосил бўлади. Фосфогипс атроф-муҳитни ифлослантиришдан ташқари, катта иктисодий зиён ҳам етказди, зеро фосфат кислота таннархининг 10% га яқини уни ташиш ва сақлаш учун сарфлашга тўғри келади. Қўйқум уюмлари қишлоқ хўжалиги учун зарур бўлган катта-катта майдонларни эгаллаб ётибди.

Мамлакатимизда ҳам 100 млн.т дан ортиқ фосфогипс тўпланиб қолган ва йилига 1 млн.т ортиқ қўшилиб бормоқда. Ҳозирги вақтда фосфогипсдан фойдаланишнинг бир қанча йўналишлари ишлаб чиқилганки, қуйида уларнинг 1 т. чиқинди ҳисобидаги иктисодий самарадорлиги келтирилади:

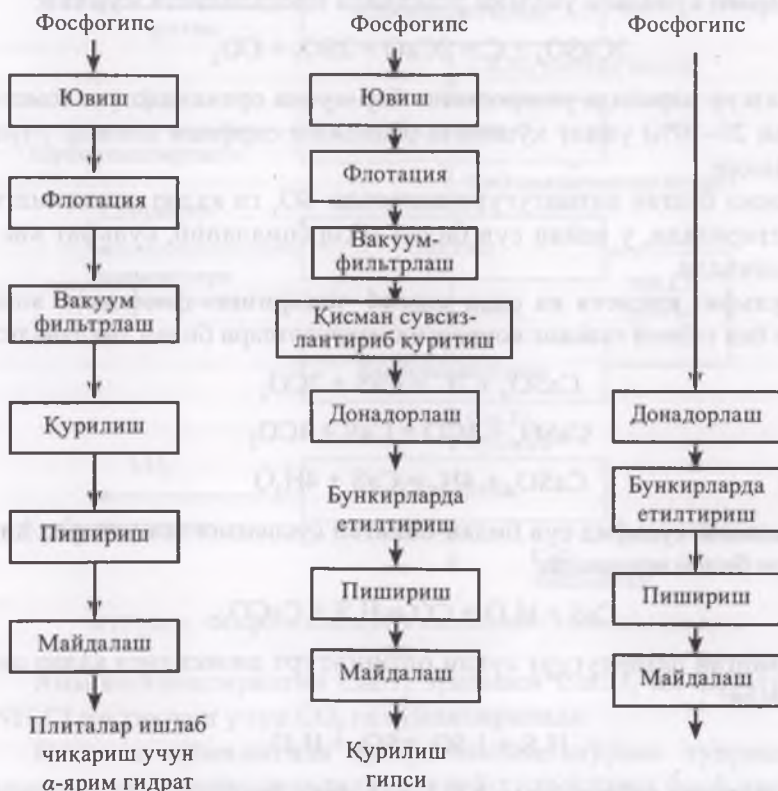
Фойдаланиш соҳалари	Иктисодий самарадорлик, сўм,т
Гипсли боғловчи моддалар и/ч	+ 3,5
Портландцемент и/ч (қўшимча сифатида)	+ 2,5
Сульфат кислота ва цемент и/ч	- 8,6
Сульфат кислота ва оҳак и/ч	- 6,6
Аммоний сульфат и/ч	-22,2
Қишлоқ хўжалиги	+ 6,4

Одатда, **фосфогипсдан гипсли боғловчи моддалар олиш** икки босқичда кечади: фосфогипсни фтор ва фосфор бирикмалардан тозалаш ва кейин  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  дан  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  га қадар сувсизлантириш.



Сувсизлантириш жараёни печларда 150–170°C ҳароратда ёки автоклавларда 120–170°C ҳароратда куйдириш йўли билан амалга оширилади. Боғловчи моддалар олиш технологияси саноат миқёсида узлаштирилган, ҳозирги вақтда ушбу метод бўйича жаҳонда 3 млн т. фосфогипс қайта ишланмоқда ва 1,9 млн т боғловчи материаллар ишлаб чиқарилмоқда. Япония йилига вужудга келаётган 5 млн т фосфогипсни тўла ишлатади.

Куйида фосфогипсдан қурилиш гипси олишнинг технологик жараёни тузилиш схемаси келтирилган (6.14-расм).

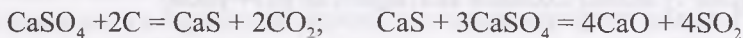


6.14-расм. Фосфогипсдан гипсли боғловчи моддалар олиш схемаси (а,б,в-вариантлар).



**Цемент ишлаб чиқаришда** фосфогипс донадорлаштирилади ва гигроскопик намлик 5% ни ташкил этгунига қадар барабан курутгичларда куритилади. Фосфогипседан фойдаланиш цемент ишлаб чиқаришда ёқилги сарфини камайтиради, печларнинг унумдорлигини ва цемент клинкери сифатини оширади.

**Сульфат кислота ва цемент ишлаб чиқаришда** куритилган фосфогипс тупроқ, кум ва кокс билан аралаштирилади ва 1200–1400°C ҳароратда пиширилади. Пишириш вақтида қуйидаги реакциялар кечади:



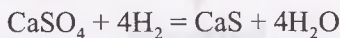
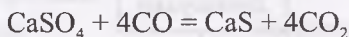
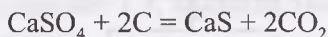
Жараён қуйидаги умумий реакцияда ифодаланиши мумкин:



Мазкур жараёнда углероднинг бир мунча ортикча (стрехиометрикдан 20–30%) унинг қўшимча реакцияга сарфини коплаш учун қўлланади.

Ҳосил бўлган олтингугурт диоксида  $\text{SO}_3$  га қадар оксидлашга йўналтирилади, у кейин сув билан абсорбцияланиб, сульфат кислота олинади.

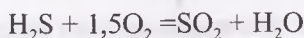
**Сульфат кислота ва оҳак ишлаб чиқаришда** фосфогипс кокс билан ёки табиий газнинг конверсия маҳсулотлари билан тикланади:



Кальций сульфид сув билан олинган суспензия эса углерод диоксида билан ишланади:

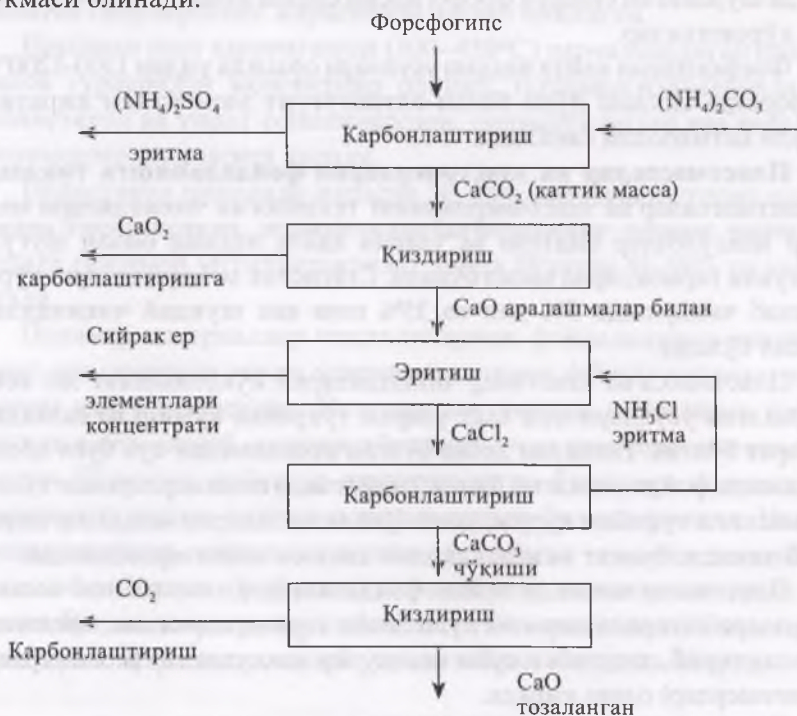


Олинган олтингугурт сувли олтингугурт диоксидига қадар оксиланади:



Илгаридан тайёрланган  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  нинг фосфогипс билан ўзаро таъсирига ёки  $\text{NH}_3$  ва  $\text{CO}_2$  сингари газсимон моддаларнинг бевосита туташувига асосланган усуллар ишлаб чиқилган.

Фосфогипсни комплекс қайта ишлаш схемаси (6.15-расм) фосфогипсни қайта ишлаб, аммоний сульфат, кальций оксид ва сийрак ер элементлари концентрати олиш схемаси ишлаб чиқилган. Мазкур усул шунга асосланганки,  $\text{CaO}$  аммоний тузларида эрийди, сийрак ер элементлари эса чўкмада қолади.  $\text{CaCO}_3$   $1000^\circ\text{C}$  ҳароратда қиздирилади, ҳосил бўлган кальций оксидга  $\text{NH}_4\text{Cl}$  эритмаси билан ишлов берилади ва  $\text{CaCl}_2$  эритмаси ҳамда сийрак ер элементлари чўкмаси олинади.



6.15-расм. Фосфогипсни қайта ишлашнинг комплекс схемаси.

Аммонийлаштирилган  $\text{CaCl}_2$  эритмаси  $\text{CaCO}_3$  ни ажратиш ва  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ни тиклаш учун  $\text{CO}_2$  га тўйинтирилади.

Қишлоқ хўжалигида фосфогипседан шўрхок тупроқларни гипслаш учун фойдаланилади. Бундай тупроқларга фосфогипс солишда (1 гектар ерга 6–7 т.) тез ювилиб кетадиган натрий сульфат ҳосил бўлади. Фосфогипседан маҳаллий ўғитлар ўрнида фойдала-

ниш тавсия этилади. Узок ерларга (500 км га қадар) ташилмайдиган ҳолларда бундай ўғитдан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан ўзини оқлайди. Фосфогипсдан фойдаланиш  $P_2O_5$  дан тозалашни талаб этмайди, зеро бу аралашма тупроққа солинганида ижобий аҳамият касб этади (6.16-расм).

Биргина Россиянинг ўзаро олтингугуртли ўғитларга бир йиллик эҳтиёжи 2 миллион тоннадан зиёдни ташкил этади. Ўзбек олимлари жуда шўрланган ерларга фосфогипсни солиш яхши самара беришини кўрсатганлар.

Фосфогипсни қайта ишлаш усуллари орасида ундан 1100-1200°C ҳароратда тиклаш йўли билан олтингугурт элементини ажратиш усули истиқболли саналади.

**Пластмассалар ва эластомерларни фойдаланишга тиклаш.** Пластмассалар ва эластомерларнинг технологик чиқиндилари мазкур маҳсулотлар синтези ва уларни қайта ишлаш билан шуғулланувчи тармоқларда ҳосил бўлади. Статистик маълумотларга кўра, ишлаб чиқаришда 5% дан то 35% гача ана шундай чиқиндилар ҳосил бўлади.

Пластмасса ва эластомер чиқиндиларни йўқотишнинг энг кенг тарқалган усуллари кўп вақт уларни тупроққа кўмиш ва ёқишдан иборат бўлган. Ёқишдан ҳосил бўлган иссиқликдан сув буғи ҳосил қилишда фойдаланилган. Бирок ёндирганда полимерларнинг тўлиқ ёнмаслиги туфайли курум ҳосил бўлади ва заҳарли моддалар ажралиб чиқади, бунинг оқибатида ҳаво ҳавзаси қайта ифлосланади.

Пластмасса чиқиндиларини фойдаланишга тиклашнинг асосий усуллари қаторига пиролиз йўли билан термик парчалаш; полимер-сизлантириб, дастлабки қуйи молекуляр маҳсулотлар (мономерлар, олигомерлар) олиш киради.

Полимерлар пиролизи 800–1100°C ҳароратда амалга оширилади ва юқори калорияли ёқилги, турли технологик жараёнларда фойдаланиладиган хом ашё ва ним маҳсулотлар, шунингдек, полимерлар синтези учун мономерлар олиш имконини беради. Полиэтилен чиқиндилари пиролизида ( $T = 740^\circ\text{C}$ ) этилен (25%), метан (16%), бензол (12%), пропилен (10%) сингари фойдали маҳсулотлар ҳосил бўлади.

Техник пиролиз қурилмаси ўз ичига майдалаш машинаси, шнек таъминлагич, пиролиз печи, пирогазни ювиш учун скруббер, со-

вуггич, углеводородларни ажратиш учун тозалаш босқичи ва кетаётган газларни ёқиш камерасини ўз ичига олади. Поливинилхлорид қайта ишланадиган тик цилиндрсимон камерадан иборат бўлиб, унда майдаланган пластмасса чиқиндилари оғирлик кучи таъсирида пастга сурилади, пиролиз маҳсулотлари эса печнинг юқори қисмидан қайта ишлаш учун жўнатилади.

Полимер чиқиндиларини бензин ва мойга айлантириш учун каталитик гидроқрскинг жараёнлари ишлаб чиқилган.

Нисбатан паст ҳароратларда (300–450°C) парчаланадиган пластмасса турларидан мономерлар олиниб, полимерсизлантирилади. Полистирол ва унинг сополимерлари, полиакрилатлар ана шундай полимерлар жумласига киради.

Полистирол пиролизи жараёни 50–70% дастлабки стирол олиш билан бирга кечади, полиметилметакрилатнинг термик парчаланишда газсимон метилметакрилат ҳосил бўлиши 91–96% га қадар стади.

Полимер материаллар чиқиндиларини фойдаланишга тиклашнинг энг самарали усули уларни иккиламчи (айрим ҳолларда кўп марта) қайта ишлашдир. Истеъмолдан чиққан полиэтилен плёнкасини қайта ишлаб, қишлоқ хўжалиги учун қувурлар ва унчалик муҳим бўлмаган жойларда ишлатиладиган буюмлар, шунингдек, иккиламчи плёнка тайёрлаш жараёнларида ўзлаштирилади. Иккиламчи полимер плёнка олишнинг технологик жараёни дастлабки хом ашё тайёрлаш (фойдаланилган плёнка), донаторлаштириш ва ҳосил бўлган донатор хом ашёни дастлабки полиэтилен билан аралаштириб, кейинчалик оддий усулда плёнка олишдан иборат.

### **6.2.5. Суюқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш**

Кимё ва нефт-кимё корхоналарининг кўплаб суюқ чиқиндилари орасида оқава сувлар, ҳар турли карбон сувли эриткичлар ва ифлосланган органик моддалар кўпчиликни ташкил қилади.

Оқава сувлар тегишли соҳадаги заводлардан – асосий кимё саноати, нефт-кимё ва нефтни қайта ишлаш саноати, органик синтез,



бўёқлар ва пигментлар, лак ва бўёвчи моддалар, целлюлоза-қоғоз саноати ва бошқа корхоналардан келадиган ноорганик ва органик бирикмалар билан ифлосланган. Кимё корхоналарида оқова сувлар ҳосил бўлишининг умумлаштирилган схемаси кейинроқ эътиборингизга ҳавола этилади (6.16-расм).

Оқова сувларни тозалаш усулини танлаш, аввало, аралашмаларнинг хусусиятига боғлиқ. Оқова сувларни тозалашнинг энг кўп қўлланиладиган усулларини қуйидаги гуруҳларга бирлаштириш мумкин:

1) суспензия ва эмульция ҳосил қилган аралашмалардан тозалаш учун – тиндириш, флотация, филтрлаш, тиндириш, центрифугалаш (дағал дисперс зарралар учун); чўкинди ҳосил қилиш, флотация, чўктиришнинг электр усуллари (майда дисперс ҳамда каллоид зарралар учун);



6.16-расм. Кимёвий ишлаб чиқаришда оқова сувларнинг ҳосил бўлиш схемаси.

2) ноорганик бирикмалардан тозалаш учун – дистиллаш, ионалмашиш, тескари осмос ультрафилтрлаш, реагентли чўктириш, совутиш усуллари, электр усуллари;

3) органик бирикмалардан тозалаш учун – экстракция, абсорбция, флотация, ионалмашиш, реагент усуллар (тиклаш усуллари); биокимёвий оксидлаш, суюқ фазали оксидлаш, парофазавий оксидлаш, озонлаш, хлорлаш, электр кимёвий оксидлаш (деструктив усуллар);

4) газлардан ва буғлардан тозалаш учун – пуфлаш, қиздириш, реагент усуллар;

5) зарарли моддаларни йўқотиш учун – термик парчалаш.

Оқава сувлар фосфор бирикмалардан алюминий ва темир сульфатлари ёрдамида тозаланади. Оқаваларни азот бирикмалардан (аммиак, нитритлар ва нитратлардан) холилаш абсорбция ва ионалмашиш (аммиак) усуллари ёрдамида амалга оширилади.

Оқава сувларни тозалашнинг турли усуллари самарадорлиги 6.7-жадвалда келтирилган.

6.7-жадвал

**ОҚАВА СУВЛАРНИ ТОЗАЛАШ УСУЛЛАРИНИНГ  
САМАРАДОРЛИГИ**

Тозалаш усули	Йўқотиладиган аралашмалар	Тозалаш даражаси, %
Биокимёвий тозалаш: бир босқичли	Органик бирикмалар, нефт маҳсулотлари	55–90
икки босқичли	Органик бирикмалар, нефт маҳсулотлари	93–90
Ҳайдаш	Аммиак	85–95
Ионалмашиш	Азот ва фосфорли бирикмалар	80–92
Электродиализ	Эриган моддалар	10–40
Кўмир билан адсорбциялаш	Органик бирикмалар	90–98
Филтрлаш	Муаллақ моддалар	60–90
Тескари осмос	Эриган моддалар	65–95
Дистиллаш	Эриган моддалар	90–98

Жадвалдан кўриниб турибдики, аксарият ҳолларда оқова сувларни тозалаш учун «Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва аппаратлари» курсида ўрганиладиган кимёвий технологиянинг оддий жараёнларидан (ёки уларнинг бирикувидан) фойдаланилади. Шунинг учун оқова сувда аралашмаларни биокимёвий ва кимёвий оксидлаш хусусиятларига эътибор қаратамиз.

**Оқова сувларни биологик тозалаш усули** гетеротроф микроорганизмларнинг ҳар турли органик бирикмаларни биокимёвий айлантириб, озиқа манбаи сифатида фойдаланиш қобилиятига асосланган. Фаол бактерияларнинг мослашиш хусусиятларидан фойдаланиш нотабиий равишда вужудга келган мураккаб органик бирикмалари бўлган кимёвий корхоналарнинг оқова сувларини биологик тозалаш масалаларини муваффақиятли ҳал этиш имконини беради.

Микроорганизмлар органик моддалар билан туташиб, уларни қисман парчалаб, сувга, углерод диоксидига, нитрат ва сульфат ионларга ва ҳоказоларга айлантирилади.

Моддаларнинг қолган қисми биомассалар ҳосил қилишга сарфланади. Органик бирикмаларнинг микроорганизмлар ёрдамида парчаланиши биокимёвий оксидланиш деб юритилади. Органик моддаларнинг оксидланиши сайланма тарзда кечади, шунинг учун айрим бирикмалар осон, бошқалари аста-секин парчаланади ёки умуман оксидланмайди.

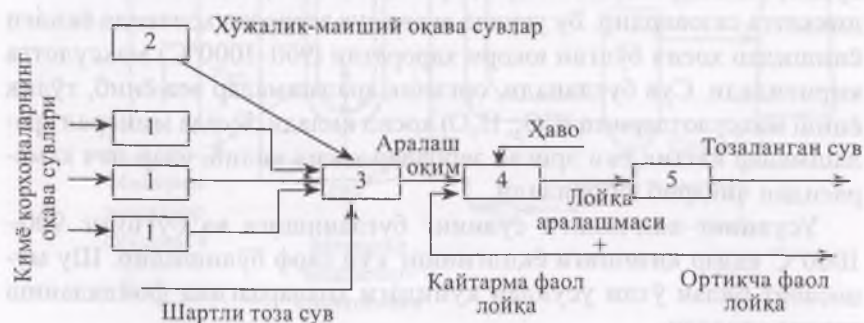
Оқова сувларни биокимёвий тозалашнинг **аэроб ва анаэроб** усуллари маълум. Аэроб усул – ҳаёт фаолияти учун кислороднинг доимий келиб туриши ва 20–40°C ҳарорат бўлиши талаб этиладиган микроорганизмларнинг аэроб гуруҳларидан фойдаланишга асосланган. Кислород ва ҳарорат режимлари ўзгарганда микроорганизмлар таркиби ва сони, бинобарин, оқова сувларининг тозаланиш самарадорлиги ҳам ўзгаради. Анаэроб тозалаш усулидан фойдаланилганда микроорганизмлар фаол лойқада ёки биоплёнкада ривожланади, биокимёвий жараёнлар кислородсиз кечаверади. Бу усулдан, асосан, чўкмаларни зарарсизлантиришда фойдаланилади.

Биокимёвий тозалаш чиқиндисиз ишлаб чиқаришни ташкил этиш нуқтаи назаридан универсал ҳисобланмайди, чунки оқова



сувлар билан бирга келувчи қимматли органик моддалар ажратиб олинмайди, балки қайта ишланиб, ортиқча лойкага айлантирилади, бу ҳам ўз навбатида зарарсизлантиришни талаб этади. Бирок бу ҳозирча оқава сувларни айланма совутиш тизимларида фойдаланиш имконини берадиган ягона усулдир. Кимё корхоналарининг биологик тозалаш иншоотлари уларга келиб тушадиган оқава сувларнинг хусусиятига қараб танланадиган турлича технологик схемаларга эга бўлиши мумкин.

Тозалаш иншоотлари технологик схемасини танлаш учун тозаланган оқава сувлар сифатига бўлган талабларни таъминлаш ҳамда сарфларни кескин даражада пасайтириш шартлари мезон қилиб олинади. Қуйида эътиборингизга ҳаволо этилган схема (6.17-расм) энг кўп қўлланилади. Оқава сувлар дастлаб ўрталаштирувчи сиғимларга (1) тушади, кейин аралаштирувчи камсрага ўтади (3). Худди шу ерга тўплагичдан хўжалик-маиший оқава сувлар, шунингдек, шартли тоза сув келиб тушади. Хўжалик-маиший оқава сувлар тўплагичи (2) ўрталаштириш ролини ўйнайди, зеро бу сувлар ўзгарувчан ифлосланиш хусусиятига эга (махсулотларни қуйиш, ишлаб чиқариш хоналарини тозалаш ва ҳоказо). Аралаш оқим азротенк (4) га келиб тушади ва бу ерга ҳаво юборилади. Тиндиргич лойка аралашмаси азротенкдан иккиламчи тиндиргичга



6.17-расм. Кимёвий корхоналари оқава сувларини биологик тозалаш схемаси:  
 1 – ўрталаштирувчи сиғимлар; 2 – хўжалик-маиший оқава сувлар тўплагичи;  
 3 – аралаштирувчи камсра; 4 – азротенк; 5 – иккиламчи тиндиргич.



(5) жўнатилади, бу ерда тозаланган сув фаол лойкадан ажратилади ва сув ҳавзасига ёки сув айланиш тизимларини тўйинтириш учун юборилади (тегишлича тозалаб тобига етказилгач), фаол лойка иккиламчи тиндиргичлардан аэротенкга қайтарма лойка кўришишида қайтарилиб, қайтар ёки қисман ортиқча лойка сифатида ишлов бериш учун юборилади.

**Оқава сувларни зарарсизлантиришнинг термик оксидлаш усуллари.** Зарарсизлантиришнинг термик оксидланиш усулларида оқава сувлардаги органик аралашмалар оширилган ҳароратда ҳаво кислороди ёрдамида безарар маҳсулотлар ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ) юзага келгунига қадар оксидланади. Аланга («Ўтли»), суюқ фазали оксидланиш, парофаза каталитик оксидланиш шулар жумласидандир.

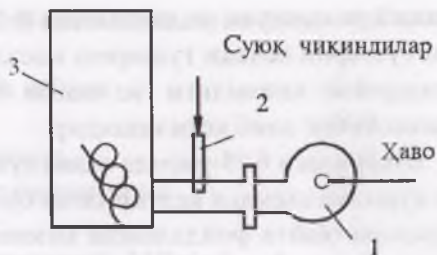
Зарарсизлантириш усулини танлаш оқава сувлар ҳажмига, уларнинг таркибига, иссиқлик ҳосил қилиш қобилятига, жараённинг тежамкорлигига ва тозаланган оқава сувларга бўлган талабларга боғлиқдир. Ифлосланган оқава сувлар иссиқлик ҳосил қилиш қобилятига кўра таркибидаги мавжуд органик моддалар ҳисобига мустақил ёниш қобилятига эга бўлган оқава сувларга ҳамда термик оксидлаш билан зарарсизлантириш фақат ёқилғи киритиш воситасидагина (сув оқимларининг иссиқлик ҳосил қилиш қобиляти 8400 кЖ/кг дан паст бўлганда) амалга ошириладиган сувларга бўлинади.

Оқава сувларни зарарсизлантиришнинг **ўтли усули** универсал бўлиб, оқава сувларни юқори даражада (98–99,9%) тозалаш билан диққатга сазовордир. Бу усулда оқава сув зарралар ҳолатида ёқилғи ёнишидан ҳосил бўлган юқори ҳароратли (900–1000°C) маҳсулотга киритилади. Сув буғланади, органик аралашмалар эса ёниб, тўлик ёниш маҳсулотларини ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ) ҳосил қилади. Бунда минерал аралашмалар қаттиқ ёки эриган зарралар ҳосил қилиб, улар печ камерасидан чиқариб юборилади.

Усулнинг камчилиги сувнинг буғланишига ва буғнинг 900–1000°C қадар қизишига ёқилғининг кўп сарф бўлишидир. Шу муносабат билан ўтли усулдан қуйидаги ҳоллардагина фойдаланиш тавсия этилади:

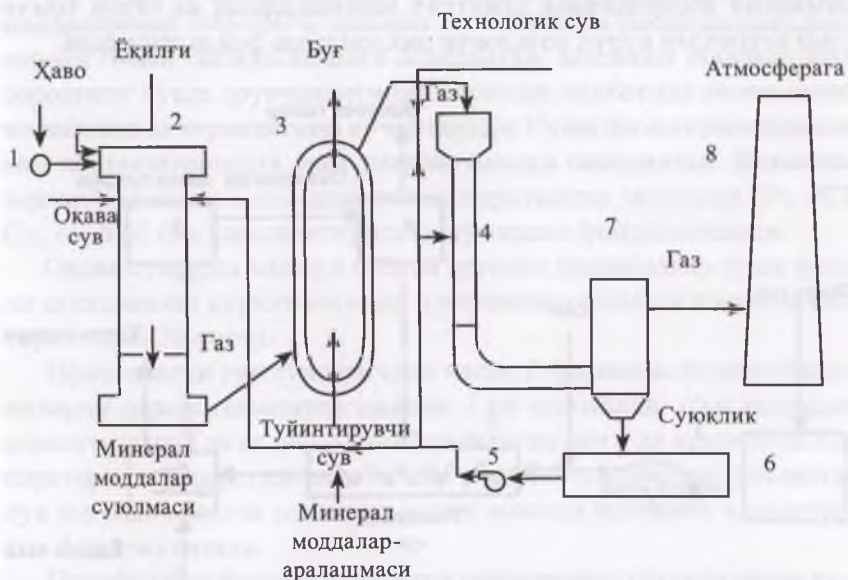
1) Ўзга усуллар билан зарарсизлантириш мумкин бўлмаган ёки иктисодий жиҳатдан самарасиз ҳисобланган юқори даражада заҳарли органик аралашмалари бўлган оқава сувлар мўллигида;

6.18-расм. Ёнувчи суюқ чикиндиларни ёқиш учун қурилма схемаси: 1-ҳаво пуркагич; 2-гаъминловчи қурилма; 3-печ.



2) ёқилғи ўрнида ишлатилиши мумкин бўлган ёнувчи иккиламчи энергетика ресурслари мавжудлигида.

Ўтли усулда турлича тарздаги печлардан фойдаланилади: камерали, шахтасимон, сохта суюлтирилган қатламли циклон печлари. Булар ичида энг самаралиси циклон печлари бўлиб, газ оқимининг гирдобли хусусияти туфайли оқава сув томчилари билан ёқилғи ёнишидан ҳосил бўлган қайноқ материаллар ўртасида иссиқлик ва

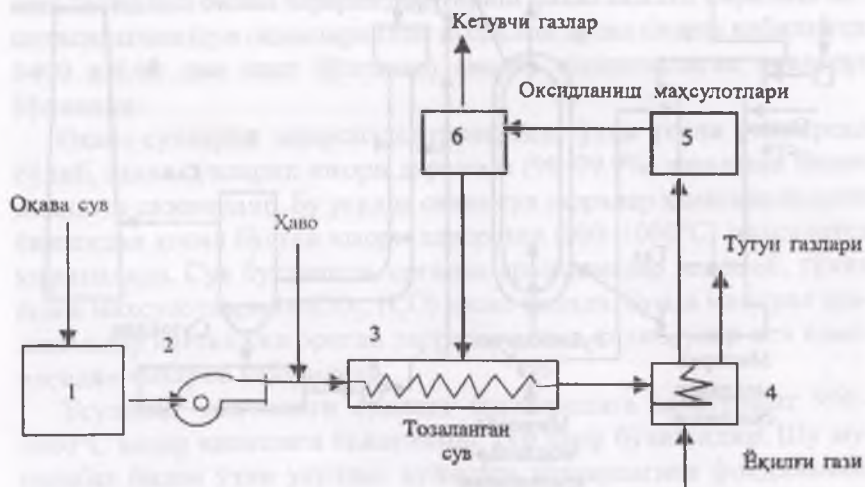


6.19-расм. Оқава сувларни ўтли зарарсизлантириш қурилмаси схемаси: 1-ҳайдовчи насос, 2-циклон реактори, 3-бўғ генератори (қайта фойдаланиш қозони ёки утилизатор - қозини), 4-оқимли аппарат, 5-циркуляция насоси, 6-сиғим, 7- томчи ажратгич, 8-дудбурон.

масса алмашинуви жадаллашади (6.18-расм). Мазкур печларда эриган тузларни печдан тушириш масаласи осон ҳал этилади. Циклон печларнинг камчилиги газ оқими билан биргаликда кўпгина туз массасининг олиб кетилишидир.

Юқоридаги 6.19-расмда оқава сувларни ўтли зарарсизлантирувчи қурилма схемаси келтирилган бўлиб, у циклон реактори, буғ генератори (қайта фойдаланиш қозони 3 ва оқимли аппарат 4 ни ўз ичига олади. Ёнишдан ҳосил бўлган маҳсулотлар реактордан буғ генераторининг совутиш камерасига келиб тушади. Эжекторнинг мавжудлиги тутунсургични тақозо этмайди. Циркуляция насоси 5 сиғими 6 дан реактор 2 га ва оқимли аппарат 4 га минерал моддалар аралашмасини узатиш учун фойдаланилади.

Тозаланган газлар томчи ажратгич 7 дан ўтиб, мўри 8 га келади ва шу ердан атмосферага йўл олади. Айрим қурилмаларда иссиқликдан қайта фойдаланиш учун сув иситгич қозонлардан, сув аммиакли абсорбциявий совутгич машиналардан ва газни томчи олиб кетгичдан қуруқ тозаловчи циклонларда фойдаланилади.



6.20-расм. Суюқ фазали оксидланиш қурилмасининг схемаси:  
1-тўплагич, 2-насос, 3-иссиқ алмашинуви, 4-печ, 5-реактор,  
6-сепаратор.

Оқава сувларни ўтли зарарсизлантириш қурилмаси қуйидаги кўрсаткичларга эга:

Оқава сувлар бўйича иш унуми, м <sup>3</sup> /соат	2,5
Табиий газ сарфи, м <sup>3</sup> /соат	600
Газнинг солиштирма сарфи, м <sup>3</sup> /соат	240
Оқава сувлар циклон печининг солиштирма юкламаси, т (м <sup>3</sup> /соат)	1,8
Циклон печининг иссиқлик кучланиши, МВт/ м <sup>3</sup>	2,46
Циклондан чиқишда ёниш маҳсулотлари ҳарорати	900–1000

Олтингугурт, хлор сингари органик бирикмалар, нитробирикмалари бўлган оқава сувларни зарарсизлантириш жараёнида SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, HCl, Cl<sub>2</sub>, (NO)<sub>x</sub> ҳосил бўлади. Мазкур моддалар ўзаро таъсирда бўлиб, янги, янада захарли бирикмалар ҳосил қилиши мумкинки, кетаётган газларни атроф-муҳитга чиқаришда бу ҳолатни назарда тутиш лозим.

**Суюқ фазаги оксидланиш** усули оқава сувда эриган органик моддаларнинг 100–350°C ҳарорат ва 2–28 МПа босимда ҳаво кислороди билан оксидланишига асосланган. Босимни ошириш кислороднинг сувда эрувчанлигининг ортиши оқибатида оксидланиш жараёни ва теранлигини кучайтиради. Суюқ фазаги оксидланиш ҳам катализаторларда, ҳам уларсиз амалга оширилади. Катализаторлар сифатида алюминий оксид киритилган металллар (Pt, PCI, Cu, Zn, Mn) ёки фаоллаштирилган кўмирдан фойдаланилади.

Оқава сувларда мавжуд бўлган органик бирикмалар суюқ фазаги оксидланиш қурилмасининг принципиал схемаси юқорида келтирилган (6.20-расм).

Ифлосланган сув тўплагичдан насос 2 ёрдамида ёнувчи бирикмаларни зарарсизлантириш тизими 1 га узатилади. Сув иссиқлик алмаштиргич 3 да ва табиий газ ёкиладиган печ 4 да иситилади. Сепараторда сув ажратилганда газлар чиқариб ташланади, тозаланган сув эса ифлосланган оқимни иситиш асосида иссиқлик алмаштиргич 3 да совутилади.

Парофаз (буғ фазаги) каталитик оксидланиш усулида оқава сувларда мавжуд бўлган учувчан органик бирикмаларни ҳаво кислороди билан гетероген каталитик оксидланишда фойдаланилади. Оксидланиш жараёни мис-хром, мис-рух, мис-марганецли катали-



заторлар ишгирокида жадал кечади. Юқори ҳароратда (350–400°C) органик моддаларнинг аксарияти тўлиқ оксидланади (98,5–99,9%).

Конденсаторга йўналтириладиган технологик оқим (буғлатувчи курилмаларда, тозалаш устунларидан ва қуритиш камераларидан ва ҳоказолардан чиқувчи) сифатида чиқадиган ҳолларда буғ фазали оксидланиш усулини қўллаш мақсадга мувофиқдир. Ушбу жараёнда гетероген-каталитик жараёнлар учун хос бўлган реактор конструкцияларидан фойдаланиш мумкин.

### **6.2.6. Газсимон чиқиндилардан фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш**

Газсимон чиқиндилар гуруҳида кетаётган технологик газлар, печлардан ва буғ генераторларидан олинадиган ёниш маҳсулотлари, вентиляция тизимларидан чиқадиган ифлосланган ҳаво отқиндилари катта улушни ташкил этади.

Газларда кўплаб бирикмалар бўлиб, улар таркибига углеводородлар ҳамда водороддан ташқари кислород, олтингугурт, азот, галогенлар кириши мумкин.

Атмосферага чиқариб ташланадиган газларни мазкур бирикмалардан тозалашга уларни юқори ҳароратларда (900–1000°C) ёндириш воситасида эришиш мумкин, бироқ бундай усул кўплаб бирламчи ёқилғи сарфлашни тақозо этадики, таркибида зарарли моддалар оз бўлган газларни зарарсизлантиришда ниҳоятда самарасиздир. Шу муносабат билан анча паст ҳароратда (300–400°C) амалга ошириладиган каталитик тозалаш усулини қўллаш мумкин бўлади. Турли газ чиқиндиларни каталитик тозалаш мисолларини кўриб ўтамиз.

**Газларни органик моддалардан каталитик тозалаш.** Тозалашнинг қуйидаги принципаал схемаси энг кўп қўлланади. Тозаланадиган газлар газ оқими ўзи билан бирга олиб кетган конденсат ҳамда муаллақ зарраларни ажратиб олиш учун циклондан ўтади. Сўнгра газлар қайтаришли иссиқлик алмашгичларда ва қиздиргичда реакция ҳароратига қадар қиздирилгач, реакторга юборилади. Жараёни, ёнилғи аралашмалар миқдори 5–10 г/м<sup>3</sup> (ана шундай аралашмаларнинг адиабатик қизиши 150–300 град) бўлган тақдирдагина автотермик тарзда ўтказиш мумкин, бундай аралаш-

малар кам бўлганида ўзга манбадан иссиқлик келтириш зарур. Тозаланган газлар совитилиб, атмосферага чиқариб юборилади.

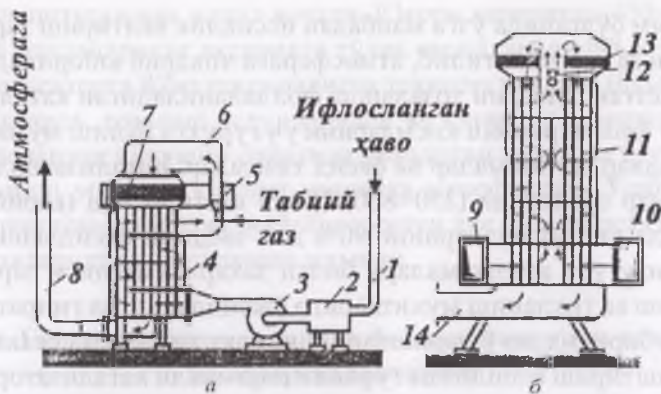
Кетаётган газларни тозалашда фойдаланиладиган катализаторларнинг фаол таркибий қисмларини уч гуруҳга бўлиш мумкин: асл материаллар, қотишмалар ва оксид тизимлар. Катализаторлар кенг ҳароратлар оралиғида (250–800°C) сув иштирокида (қарийб 15%) СО ҳамда углеводородларнинг 90% дан зиёдини оксидлаши лозим ва олтингугурт аралашмалари билан заҳарланмаслиги зарур. Оксидланиш ва тикланиш муҳитларида (оксидланиш ва гидратланиш) органик бирикмалар ўзгаришларининг ғоят хилма-хил реакцияларни тезлаштириш қобилияти туфайли платинали катализаторлар энг кўп тарқалган.

Газларни зарарсизлантириш учун ноплатина металллар (Ni, Si, Cr, Mn) оксидлари асосида анчагина арзон таблеткасимон доналаштирилган катализаторлардан ҳам фойдланилади.

Изопренни сувсизлантириб, изопрен ишлаб чиқаришда кетувчи газлар ҳосил бўладик, уларнинг таркибида азот, кислород ва углерод диоксидидан ташқари  $C_1 - C_5$  углеводородлари ҳам мавжуд. Уларни тозалаш учун АП–56 платинали катализатордан (Pt– $Al_2O_3$ ) фойдаланилади. Таркибида 4,5% (ҳажм) органик моддалар бўлган газни икки босқичли тозалашда ушбу катализаторда 260–350°C ҳароратда, 50000 соат<sup>-1</sup> ҳажмий тезликда ва ҳаво ортиқлиги 1,5–2,0 марта бўлганда конверсия 96–100% га етади.

Аралашмалар теран оксидланганда микдори оксидланувчи моддалар табиатига ҳамда уларнинг тозаланадиган газларда тўпланиш даражасига боғлиқ. Иссиқликни фойдаланиш учун тиклаш, вентиляция отқиндиларини углерод диоксиди ва сувга айланадиган заҳарли органик моддалардан тозалаш учун муҳим катализатор катламли реактор схемаси 6.21-расмда келтирилган.

Ифлосланган ҳаво цех биносидан ёки технологик ускунадан канал (1) орқали шамол паррак (3) воситасида сўриб олинади. Ифлосланган ҳаво ўт тўсгич (2) орқали ўтиб, 3000 Па га қадар босим остида рекуператорнинг (4) трубалараро бўшлиғи томон йўл олади ва бу ерда дастлаб кетаётган газларнинг иссиқлиги ҳисобига 200°C ҳароратга қадар қиздирилади. Қизиган ҳаво аралаштирувчи – оқувчи ҳаво иситгич (6) га келиб тушади, бу ерда унинг ҳарорати



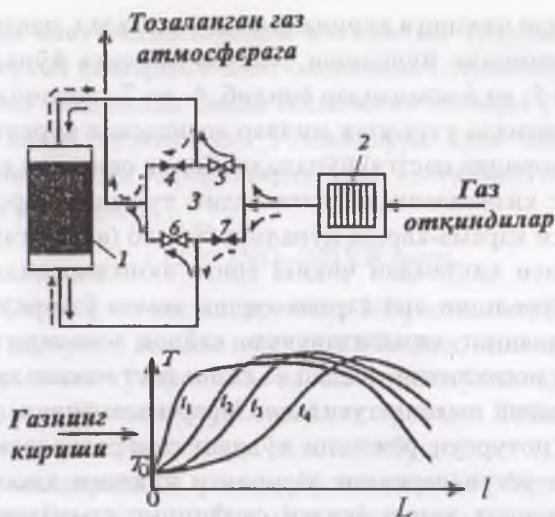
6.21-расм. Органик аралашмалари бўлган газ-ҳаво отилмаларини каталитик зарарсизлантириш учун ўтказиш қобилияти 5 минг м<sup>3</sup>/соат (а) ва 10–25 минг м<sup>3</sup>/соат (б) бўлган реактор схемаси: 1–трубопровод, 2–ўт тўсгич, 3–марказдан кочирма шамолпаррак, 4–рекуператор, 5–оқимли ёндиргич, 6–аралаштирувчи–оқувчи ҳаво иситгич, 7–катализатор, 8–чикиш трубопроводи, 9, 10–каналлар, 11–рекуператорнинг трубалараро бўшлиғи, 12–ёндиргич, 13–кийдирма, 14–чикиш трубопроводи.

ёндиргичга (5) юбориладиган табиий газнинг ёниш маҳсулотлари билан аралashiши ҳисобига 250–400°C га қадар кўтарилади. Катализатор қатламида зарарсизлантирилган ҳаво рекуператор (4) қувурига келади ва ўз иссиқлигини ифлосланган ҳавога беради, ўзи эса чикиш трубопроводи (8) орқали атмосферага чиқариб юборилади ёки ундан технологик жараёнда қуритиш омили ёхуд иссиқлик ташувчи сифатида фойдаланилади.

Конструкциянинг мураккаблигива металл сарфининг юқорилиги доимий катализатор қатламли ҳамда озроқ микдорда органик аралашмалари бўлган газларни зарарсизлантиришда иссиқлик фойдаланиш учун тикланадиган реакторнинг камчиликларидир. Реактор узели жами ҳажмининг 5% дан камроғи катализатор улушига тўғри келади, қолганини эса иссиқлик алмаштиргич ва ҳар турли тақсимлаш қурилмаси ва ҳоказолар ташкил этади.

Нотурғун режимли газларни зарарсизлантирувчи каталитик реакторлардан фойдаланиш янги имкониятлар очиб беради. Нотурғун режимдан фойдаланиш усулларида бири катализатор





6.22-расм. Нотургун режимда газ отилмаларини зарарсизлантириш курилмасининг схемаси ва катализатор қатламида узунлик ( $l$ ) бўйича ҳароратнинг ( $T$ ) вақт бўйича ўзгариши ( $t_1, \dots, t_n$ ): 1 – каталитик реактор, 2 – ишга туширувчи иситгич; 3 – узиб уловчи клапанлар блоки (4–7). Туташ ва узик миллар-жараённинг турли циклларида оқимнинг йўналишларини кўрсатади.

қатламида газ бериш йўналишини алмашиб улаш бўлиши мумкин. Буни қуйида эътиборингизга ҳавола этаётган чизмада кўриш мумкин (6.22-расм).

Реакторда (1) катализатор дастлаб ишга туширувчи иситгич (2) ёрдамида газ оқими билан қиздирилади. Қатлам қиздирилганидан сўнг зарарсизлантирилган газ паст ҳароратда туташ миллар билан кўрсатилган йўналишда узатилади, бунинг учун блокда (3) клапанлар (5 ва 6) очилиб, клапанлар (4 ва 7) беркитилади. Газ реакторнинг юқорисидан пастга томон ўтади. Совуқ газ ўз йўналиши бўйича қатламнинг дастлабки қисмларини совутиб, катализаторнинг қайноқ қатламида қизиб, газ етарли даражада қизиган қатлам кесимида аралашмалар оксидланишининг экзотермик реакцияси кечади (реакция зонаси) ва қатлам ҳарорати кўтарилади. Вақт ўтган сайин реакция зонаси қатламдан чиқиш (паст) томон ҳаракатланади. Қатламдаги ҳарорат профилининг ўзгариши юқорида берилган чизмада (6.22-расм) ўз ифодасини топган. Реакциянинг қайноқ зо-



наси қатламдан чиқишга яқинлашганда (чизмада  $t_4$  вақти) реактордаги газ оқимининг йўналиши тескари томонга йўналтирилади, бунинг учун 5- ва 6-клапанлар ёпилиб, 4- ва 7-клапанлар очилади. Газ оқими, чизмада узук-узук миллар воситасида кўрсатилганидек (қатламда юқоридан пастга) йўналади. Совуқ оқим яна катализатор қатламининг қизитилган қисмига келиб тушади ва реакциянинг қайноқ зонаси қарама-қарши йўналиш бўйлаб (юқорига) сурилади. Реакция зонаси қатламдан чиқиш ерига яқинлашганда, реактордаги оқим йўналиши яна қарама-қарши томон ўзгаради. Шундай қилиб, реакциянинг ҳаракатланувчан қайноқ зонасидаги қатламда жамғарилган иссиқликни сақлаш ва газни паст чиқиш ҳарорати билан қайта ишлаш имкони туғилади. Зарарсизлантириш реакторида (6.8-жадвал) нотурғун режимни қўллаш самарадорлиги иссиқлик алмаштириш ускуналарининг зарурияти йўқлиги ҳисобига капитал маблағларнинг ҳамда ёқилғи сарфининг камайтирилиши туфайли фойдаланиш харажатларининг тежалишига асосланган. Газларни зарарсизлантиришнинг баён этилган нотурғун усули, агар йўқотиладиган таркибий қисмлар концентрацияси вақт ўтган сари ўзгарадиган бўлса, жараённи бошқаришнинг ғоят ишончли ва анчагина мураккаб тизимини такозо этади. Бундан ташқари, газ ҳаракат йўналишининг ўзгариши вақтида тизим ҳажмининг йўналиш ўзгаргунига қадар бирламчи газ ўтиб келган ва йўналиш ўзгарганидан кейин зарарсизлантирилмаган моддалар пуфлаб чиқариладиган қисмидан зарарли моддаларнинг бараварига отилиши рўй беради.

6.8-жадвал

### ГАЗЛАРНИ ЗАРАРСИЗЛАНТИРИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИНГ ҚИЁСИЙ КЎРСАТКИЧЛАРИ

Кўрсаткич	Турғун режим	Нотурғун режим
Газ сарфи, $\text{нм}^3/\text{соат}$	16500	16500
Аралашмалар концентрацияси, $\text{г}/\text{м}^3$	5–10	5–10
Цикл вақти, дақиқа	–	40–100
Капитал сарфлар, шартли бирлик	1,0	0,23
Солиштирма фойдаланиш сарфлари, шартли бирлик	1,0	0,33
Ёқилғи сарфи, МЖ/соат	3,0	–

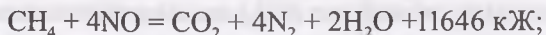
Газларни азот оксидларидан каталитик тозалаш. Кимё са-  
ноатида кетувчи газлардаги азот оксидлари отилмалари азот кис-  
лотаси ишлаб чиқаришда ҳамда технология печлари ўтхоналарида  
ёқилги ёнганида кузатилади. Ўтхоналарда азот оксидларининг  
ҳосил бўлиши юқори ҳароратларда ҳаво азотининг оксидланиши  
натижасида рўй беради;



Ҳосил бўлган азот оксидларининг  $\text{NO}_x$  концентрацияси ёниш  
зонасидаги ҳароратга ва ҳаво мўллигига боғлиқ. Ана шу ҳар иккала  
омил (ҳароратнинг кўтарилиши ва ҳавонинг мўллиги) азот оксид-  
ларининг ҳосил бўлиши учун қулайлик яратади. Табиий газ ёнди-  
рилганда ёниш маҳсулотларида ҳаво мўл бўлган  $a = 1,2$  шароитида  
 $0,3-0,4 \text{ г/м}^3$  миқдорида  $\text{NO}_x$  ҳосил бўлади,  $a = 1,05$  бўлган тақдирда  
эса унинг миқдори  $\text{NO}_x - 0,15 \text{ г/м}^3$ ни ташкил этади.

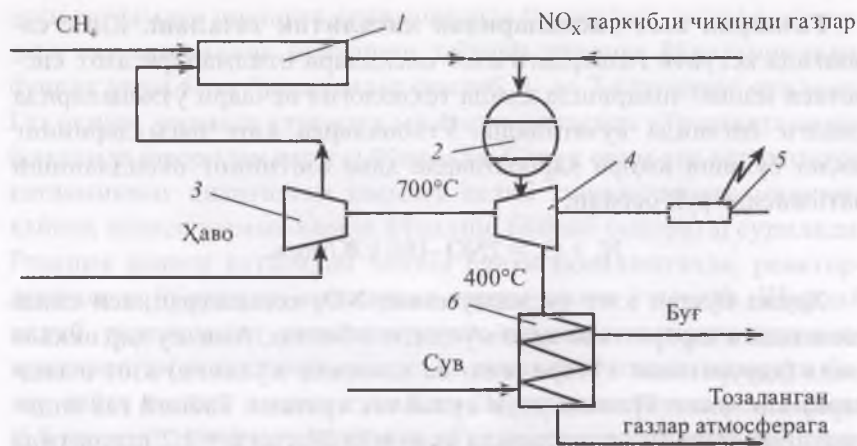
Саноат амалиётида газларни зарарсизлантириш учун табиий газ  
( $T \geq 500^\circ\text{C}$  шароитида) ёки аммиак ( $T < 500^\circ\text{C}$  шароитида) билан азот  
оксидларининг молекуляр азот ва сувга қадар каталитик тикланиш  
(қайтарилиш) усуллари қўлланилади.

Табиий газ ёрдамида азот оксидларини тиклашнинг юқори  
ҳароратли жараёнининг якуний реакциясини куйидаги тарзда ифо-  
далаш мумкин;

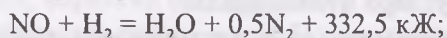
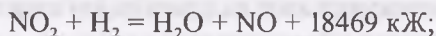


Ушбу жараёнда катализаторлар сифатида алюминий оксидига  
киритилган Pt, Pd, Ni, Si, Cr, Fe металлларидан ва Ni-Cr, Cu-Cr, Zn-  
Cr ва бошқа қотишмалардан, силикагелдан фойдаланилади. Азот  
кислота ишлаб чиқаришда чиқинди газлар АПК-2 катализаторида  
зарарсизлантирилади ( $\text{A}_2\text{O}_3$  2 % Pd билан бирга). Реакторда  $\text{NO}_x$  ни  
тиклаш жараёни  $720-770^\circ\text{C}$  ҳароратда ва газнинг ҳажмий тезли-  
ги  $15000-25000 \text{ соат}^{-1}$  бўлган шароитида амалга оширилади. Азот  
оксидларининг қолдиқ миқдорига  $0,002-0,008\%$  (ҳажм бўйича)  
стехиометрия жиҳатидан табиий газнинг мўллигида эришилади.

Юқори ҳароратли жараёнда тиклагич (қайтаргич) сифатида во-  
дороддан ҳам фойдаланиш мумкин:



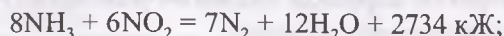
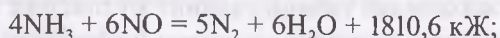
6.23-расм.  $\text{NO}_x$  азот оксидларидан чиқинди газларни юқори температурали зарарсизлантириш энергия технологик схемаси: 1 – ёндириш камераси; 2 – редуكتور; 3 – компрессор; 4 – турбина; 5 – электрогенератор; 6 – утилизатор қозони.



Кетувчи газларни азот оксидларидан тозалашнинг энерготехнологик схемасида жараёндаги ортиқча иссиқликдан газ турбина қурилмасида ҳамда тиклаш қозонларида фойдаланиш кўзда тутилади (6.23-расм).

Мазкур схемада табиий газ ( $\text{CH}_4$ ) ва ҳаво шунча миқдорда юбориладики, токи ҳаводаги барча кислород ёниш камерасида метаннинг ёнишига ва кетувчи газларнинг зарурий ҳароратгача қизишига сарфлансин. Бирок табиий газ озроқ ортиқчаси билан юборилади – ёниб улгурган  $\text{CH}_4$  реакторда (4) азот оксидини  $\text{N}_2$  га қадар тиклайди. Ёнувчи газлар энергияси турбинада ҳаво компрессори юритмасида ва фойдаланишига тиклаш қозонида буг олишда фойдаланилади.

Аммиак воситасида азот оксидларини молекуляр азот даражасида каталитик тиклашнинг паст ҳароратли жараёни  $200\text{--}350^\circ\text{C}$  ҳароратда кечади:





6.24-расм. Тутун газларини азот оксидларидан тозалаш схемаси:  
 1 – дудбурон; 2 – тўсиқ; 3 – аммиакни тутун газин билан аралаштиргич;  
 4 – аммиакни дозалаш блоки; 5 – реактор.

$\text{NO}_x$  ни селектив тиклаш катализатори сифатида Pt, MgO,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , CuO,  $\text{Cr}_2\text{O}_2$  ва бошқа металл оксидларидан фойдаланилади. АВК-10М алюмованадий контактда тозаланаётган газнинг ҳажмий тезлиги  $15000 \text{ соат}^{-1}$ . Ҳаво мўллиги 20% бўлганида, тозаланиш даражаси 98–96% га етади ва азот оксидларининг колдиқ миқдори 0,002–0,003%ни (ҳажм бўйича) ташкил этади. Юқоридаги схемада (6.24-расмда) чиқиб кетаётган ёниш маҳсулотларини тозалаш вариантлари берилган.

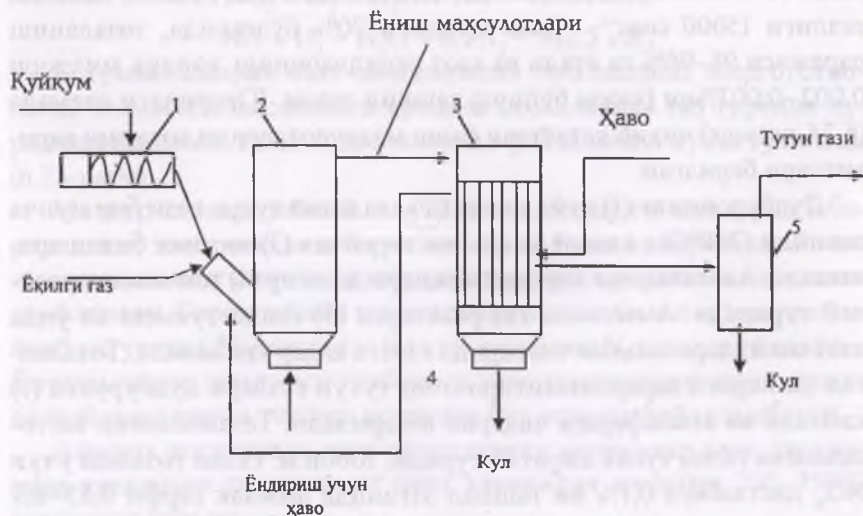
Дудбуроннинг (1) қуйи қисмига келадиган тутун газин бир мунча совийди ( $200^\circ\text{C}$ га қадар) ва аралаштиргичда (3) аммиак билан аралашади. Аммиакнинг керакли миқдори дозатор (4) томонидан ростлаб турилади. Аммиакли газ реакторга (5) келиб тушади ва унда азот оксидлари аммиак таъсирида азотга қадар тикланади. Тозаланган (аникроғи зарарсизлантирилган) тутун газлари дудбуронга (1) қайтади ва атмосферага чиқариб юборилади. Тозаланмаган ва тозаланган газни тўсиқ ажратиб туради.  $1000 \text{ н.м}^3$  газни тозалаш учун  $\text{NO}_x$  дастлабига 0,1% ни ташкил этганида аммиак сарфи 0,85–0,9 килограмми ташкил этади.



### 6.2.7. Кимё корхоналари қуйқумларини (шламларини) фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш

Қуйқумлар кимё ва нефт кимёси корхоналарининг энг кенг тарқалган чиқиндилари туркумига киради. Нефт қуйқумлари нефтни қайта ишлаш чоғида дастлабки нефтда мавжуд бўлган қаттиқ аралашмалар ҳисобига ҳосил бўлади. Бир тонна қайта ишланган нефтдан чиқадиган қуйқумлар 7–10 килограммни ташкил этади. Корхоналарнинг жами қуйқум тўплагичларида 5 млн. тоннадан зиёд нефт қуйқуми тўпланган. Қуйқумларда тўпланган 10–56% (мас.) нефт маҳсулотлари, 30–85% (мас.) сув ҳамда 13–46% (мас.) қаттиқ аралашмалар мавжуд.

Бундай чиқиндилар қуйқум тўплагичларда сақланганда қатлашиб, юқори қатлам (нефт маҳсулотларининг сувдаги эмульсияси), ўрта қатлам (нефт маҳсулотлари ва муаллақ зарралар билан ифлосланган сув) ва қуйи қатлам (нефт маҳсулотлари шимилган қаттиқ фаза) ҳосил бўлади.



6.25-расм. Нефт қуйқумларини ёкиш учун қурилма схемаси:

- 1 – шнек насос, 2 – сохта қайнайдиган қатламли печ,  
3 – иссиқлик алмаштиргич, 4 – ҳаво пуркагич, 5 – циклон.

Нефт куйкумларини қайта ишлаш ва уларда мавжуд бўлган нефт маҳсулотларини фойдаланиш учун ишлашнинг кўплаб усуллари ишлаб чиқилган: дастлабки сувсизлантириш, сувли куйкумни термик қуритиш ва нефт маҳсулотларини дастлабки нефт билан биргаликда қайта ишлаш, сувсизлантирилган ёки қисман сувсизлантирилган куйкумни газлаштириш; эмульсия тарзида ёқиш ва иккиламчи энергия ресурслари иссиқлигидан фойдаланиш; қурилиш материаллари (керамзит) ишлаб чиқаришда шламларни фойдаланиш учун тиклаш.

Куйкумни сохта қайнайдиغان қатлам билан печда ёқиш куйкумни фойдаланиш учун тиклашнинг энг кенг тарқалган усуллари (6.25-расм).

Куйкум шнекнасос (1) билан реакторга (2) юборилади. У билан бирга ёнишни таъминлайдиган ҳаволи табиий газ ҳам юборилади. Реакторда пастдан юбориладиган ҳаво ёрдамида сохта қайнаш ҳосил бўлади. Ёниш маҳсулотлари иссиқлик алмаштиргичда (3) ҳаво таъсирида совутилади, бу ҳаво иссиқлик алмаштиргичдан кейин реакторга ўтади. Қул иссиқлик алмаштиргичда қисман ажралиб, ундан чиқариб юборилади. Қулнинг асосий қисми циклонда (5) тутун газларидан ажралади. Механик аралашмалари кўп бўлган (70% гача) куйкумларни ёқиш учун кўп таг қисмли ва барабансимон айланма печлар қўлланилади.

Нефт куйкумини ёқишда қўшимча ёқилғи сарфлаш талаб этиладики, бу ҳол жараёни анча қимматлаштириб юборади. Шунинг учун иссиқликдан юқори даражада фойдаланиш қурилмалар самардорлигини оширишнинг асосий йўналиши бўлиб хизмат қилади.

### **6.2.8. Ўта заҳарли ва радиоактив чиқиндиларни зарарсизлантириш**

**Ўта заҳарли чиқиндилар** гуруҳини ташкил этувчи бирикмалар ҳақида юқорида фикр билдирилган эди. Дарвоқе, барча ҳолларда ўта заҳарли чиқиндиларни зарарсизлантириш босқичи ниҳоявий бўлиб, ундан олдин чиқиндилардан фойдали таркибий қисмлар ажратиб олинади. Қимматли моддаларни тиклашда ҳар турли физик-химёвий усуллардан фойдаланилади: буғлантириш, адсорбция,

ионалмашиш, экстракция, чўктириш, ультрафилтрация ва ҳоказо. Чиқиндиларни физик-кимёвий қайта ишлашнинг аксариятида бирон-бир қимматга эга бўлмаган ва чиқиндиларнинг ўта заҳарли қисми сифатида йўқотиб юборилиши лозим бўлган янги қаттиқ ёки куйкумсимон қолдиқлар вужудга келади.

Ўта заҳарли чиқиндиларни йўқотиш усуллари орасида, кўмиш майдонлари, куйқа омборлари, чуқур ер ости қудуқларига кўмиш ёки ҳайдаш ва ёкиш усуллари кенг тарқалган.

**Чиқиндиларни кўмиш майдонлари ер ости** иншоотлари бўлиб, уларнинг вазифаси ўта заҳарли чиқиндиларни олдиндан тайёрлаб, ерга кўмишдир. Бундай майдонлар таркибига иссиқлик фойдаланиш учун тикланадиган ёндириш печлари ҳам киради. Кўмиш майдонлари аҳоли яшаш жойларидан узоқда жойлашади. Кўмиш майдонлари учун жой белгилашда чиқиндиларнинг таркиби ва физик-кимёвий хусусиятлари ҳисобга олинади ҳамда сув ости сувлари ифлосланишининг олдини олиш чоралари кўрилади (бетонлаш, чиқинди тўплагичларни гидроизоляциялаш). Энг кенг тарқалган зарарсизлантириш усули бир хил чиқиндиларни бошқа хил чиқиндилар билан нейтраллаш ва қайта ишлаш бўлиб, бунда қийин эрийдиган бирикмалар олинади. Бундай усул таркибида мишьяк бўлган чиқиндиларга сульфидли чиқиндилар билан ишлов беришда қўлланилиб, бунда эримайдиган мишьяк сульфидлари ҳосил бўлади.

**Ўта заҳарли чиқиндиларни зарарсизлантиришда қаттиқлаш усулидан** фойдаланилади. Бу усул заҳарли қисмларни эримайдиган бирикмаларга айлантиришни ҳамда таркибидан заҳарли аралашмаларни сув ювиб кета олмайдиган блокларни (агломератларни) ҳосил қилишни ўз ичига олади. Қаттиқлаш усули таркибида оғир металллар, симоб ва заҳарли куйқалар ҳамда чўқиндилар бўлган чиқиндиларни зарарсизлантиришда қўлланилади. Чиқиндиларни қаттиқлаш уларни махсус ажратилган майдонларда бехатар сақлашни таъминлайди, шунингдек, сув ости сувлар ифлосланишининг олдини олади. Мазкур усул чиқиндига боғловчи қисмлар (цемент, оҳак), битум, парафин, органик полимерлар, силикат материаллар қўшиш воситасида амалга оширилади.



Шунингдек, капсуллаш усули ҳам кенг тарқалган, бунда заҳарли чиқинди инерт материалдан ишланган материал билан копланеди (масалан, шишага айлантириш). Капсул материали грунт сувлари муҳитида юқори даражада коррозияга бардошли бўлиши ва кўмиладиган майдонда узоқ вақт сақлаш имконини бериши лозим.

**Чукур қатламларда чиқиндиларни кўмишда мавжуд қудуқлардан фойдаланилади** ёки махсус равишда бир неча юз метрдан 4000 метргача чукурликда қудуқ қавланади. Чиқиндилар амалий аҳамиятга эга бўлмаган шўр сувли қатламларга, сизот сувлар қатлампидан пастга жойлаштирилади. Қудуқ қавлаш учун жой танлашда ютилиш қатламининг геологик хусусиятлари (ғоваклиги, сингдирувчанлиги, герметиклиги ва ҳоказолар ҳисобга олинади). Шунингдек, артезиан сувларини муҳофаза этиш тадбирлари ҳамда қудуқлардан фойдаланиш шакллари ишлаб чиқилади.

**Ёндириш ва пиролиз усуллари** суюқ ва қаттиқ ўта заҳарли чиқиндиларни йўқотишда қўлланилади. Мазкур усулларда чиқиндилар ҳажмини 85% фоизга қадар камайтиришга эришилади. Ёндириш учун турлича конструкциядаги саноат печлари: камерали, шахта, барабан, циклон печлари ва сохта қайновчи қатламдан фойдаланилади.

Радиоактив чиқиндилар мустақил чиқинди гуруҳини ташкил этади. Уларнинг асосий фарқи шундаки, улар ядровий нобарқарор ҳолатда бўлади ва тирик организмларга ва бошқа биологик материалларга таъсир этувчи ионларни чиқаради.

Радиоактив чиқиндиларни бир қатор белгилари бўйича таснифлаш қабул қилинган. **Агрегат ҳолати бўйича** суюқ, қаттиқ ва газсимон радиоактив чиқиндиларга ажралади. Суюқ чиқиндиларга, ҳақиқий эритмалардан ташқари коллоид эритмалар, суспензиялар ва пульпалар ҳам киради. Газсимон чиқиндилар газлардан ташқари аэрозоллар, тутунлар ва туманларни ҳам ўз ичига олади.

Қаттиқ чиқиндилар жумласига, радиоактив моддаларнинг ўзидан ташқари, улар ўзига ютган радиоактив моддалар ёки уларда иккиламчи ёки кириб қолган радиоактивлик вужудга келиши билан нурланган моддалар ҳам киради.

**Солиштирма фаоллик даражаси бўйича** радиоактив чиқиндилар уч туркумга бўлинади: паст  $1 \cdot 10^{-5}$  Ки/л), ўрта ( $1 \cdot 10^{-5}$  дан



1 Ки/л) ва юқори ( $> 1$  Ки/л) солиштирма фаоллик. Радио кимё саноатида чиқиндиларнинг дастлабки икки туркуми тарқалган, юқори фаоликка эга бўлган чиқиндилар эса атом электр станциялари учун хосдир.

Биринчи туркумдаги чиқиндилар киши организмнинг ичига кириб қолганидагина радиациявий хавфлидир, шунинг учун улар шундай маҳаллийлаштирилиши керакки, токи улар биологик занжир бўйлаб ҳаракатланиши натижасида киши организмга хавфли миқдорда тушиб қолмасин. Чиқиндиларнинг иккинчи туркуми ташқи нурланиш манбаи сифатида ҳам хавфли, шу боис нурланишдан ҳимоя қилиш ҳам зарур.

**Ҳосил бўлиш манбаларига кўра чиқиндилар қуйидагиларга бўлинади:** нисбатан доимий миқдор ва сифат хусусиятларига (ҳажм, таркиб, фаоллик) эга бўлган радиоактив ишлаб чиқариш корхоналарининг технологик чиқиндилари: нотехнологик чиқиндилар, улар жумласига санитарияда фойдаланилган сувлар, хоналарни дезактивизациялаш сувлари ва ҳоказолар киради.

Радиоактив технологияда барча турдаги: газсимон, суюқ ва қаттиқ турдаги чиқиндилар ҳосил бўлади. Радиоактив газ ва аэрозоллар ҳаво газлари ва аэрозолларнинг нурланиши сабабли вужудга келади. Таркибида радиоактив элементлар бўлган ҳар қандай эритмалар, маъдан пульпалари суюқ радиоактив чиқиндиларнинг манбаи ҳисобланади. Қаттиқ радиоактив чиқиндилар жумласига радиоактив нурланиш таъсирига учраган қуйқалар, радиоактив моддаларни сақлаш ва ташишда қўлланадиган идишлар киради. Ишланган ионалмашиниш катронлари ва адсорбентлар киради.

Ҳозирги вақтда фаоллик даражаси турлича бўлган радиоактив чиқиндиларни қайта ишлашнинг технологик схемалари ишлаб чиқилган бўлиб, улар одам ва атроф-муҳитнинг хавфсизлигини кафолатлайди.

**Ҳавони радиоактив газлардан ва аэрозоллардан тозалаш учун қуйидаги усуллардан фойдаланилади:** ингичка толали полимер матода (перхлорвинил тодалари 1,5–2,5 мкм), кийдирма учли филтрларда филтрлаш, эритмалар билан абсорбциялаш, қаттиқ сорбентларда адсорбциялаш. Бунда газ оқимларини тозалаш самардорлиги 99,9% га етади.

**Суюк радиоактив чиқиндиларни қайта ишлаш** схемасини танлаш, хоҳ радиоактив элементлар, хоҳ бошқа таркибий қисмлар бўлсин, уларнинг солиштирма фаоллиги, ҳажми ва сифат таркибига боғлиқ бўлади. Дистиллаш, чўктириш, коагуляция ва ионалмашиниш усуллари энг кенг тарқалган. Суюк чиқиндиларга ишлов беришнинг оддий ва ишончли усули кубсимон қолдикдан иборат кичик бир ҳажмда радиоактив моддаларнинг тўпланиш имконини берувчи бўлимидир. Кўп марталаб буғлаш суюклик фаоллигини 99,9% га пасайтириш имконини беради.

**Радиоактив муаллақ моддаларни йўқотиш коагуляция усули**да амалга оширилади, бунда суюклик фаоллиги 97–98% га камаяди. Сўнгги йилларда радиоактив чиқиндиларни тозалаш учун электроанализ, кристаллаш, флотация усулларидан фойдаланмоқда.

Суюк, ўта фаол чиқиндиларни қайта ишлашда буғлаш, қаттиқлаш (шишага айлантириш) ва геологик қатламларга кўмиш энг самарали усуллар деб эътироф этилган. Суюк ўртача фаол чиқиндилар (олдиндан эритмалар билан буғлатиб) битумлаш усули бўйича қаттиқлаштирилади ва кўмиш учун юборилади. Паст фаол чиқиндилар кимёвий чўктириш ёрдамида қайта ишланиб, буғлатилади ва цементлаб, сўнг кўмилади.

Кўмиладиган майдонлар учун аҳоли турар жойларидан узоқ, хўжалик ёки бошқа мақсадларда фойдаланиш жиҳатидан истиқболсиз бўлган ерлар танланади. Бу мақсадлар учун дўнглик ерлар қулайдир, зеро бундай ерларда радиоактив моддаларнинг сизот сувларга тушиши эҳтимолдан узоқ. Радиоактив чиқиндиларни кўмишнинг ишончлилиги темир-бетон конструкциялардан «саркофаг»лар қуриш билан таъминланади.

## ТАВСИЯ ЭТИЛАДИГАН АДАБИЁТЛАР

1. *Аболонин Б.Е., Кузнецова И.М., Харлампиди Х.Е.* Основы химических производств: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 2001. 472 с.
2. *Бесков В.С., Сафронов В.С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов. М.: Химия, 1999. 472 с.
3. *Бесков В.С., Флокк В.* Моделирование каталитических процессов и реакторов. М.: Химия, 1991. 253 с.
4. *Васильев Б.Т., Отвагина М.И.* Технология серной кислоты. М.: Химия, 1985. 385 с.
5. *Кафаров В.В., Макаров В.В.* Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. М.: Химия, 1990. 320 с.
6. *Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г.* Общая химическая технология: Учебник для вузов. 3-е перераб. и доб. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 528 с.
7. *Лебедев Н.Н.* Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. М.: Химия, 1981. 605 с.
8. *Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П.* Теория и практика химической энерготехнологии. М.: Химия, 1988. 280 с.
9. *Позин М.Е.* Технология минеральных удобрений: Учебник для вузов. Л.: Химия, 1983. 335 с.
10. Расчеты химико-технологических процессов. Учебное пособие для вузов/ Под ред. И.П.Мухленова. Л.: Химия, 1982. 247 с.
11. *Смирнов Н.Н., Волжгинский А.И., Плесовских В.А.* Химические реакторы в примерах и задачах: Учебное пособие для вузов. СПб.: Химия, 1994. 280 с.
12. Справочник азотчика. В 2 ч. М.: Химия, 1986-1987.
13. *Стадницкий Г.В., Родионов А.И.* Экология: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1988. 272 с.
14. *Степанов В.С.* Анализ энергетического совершенства технологических процессов. Новосибирск: Наука, 1984. 273 с.
15. *Фролов Ю.Г., Белик В.В.* Физическая химия: Учебное пособие для вузов. М.: Химия, 1993. 464 с. Химическо-технологические системы: Учебное пособие для вузов /Под ред. И.П.Мухленова. М.: Химия, 1986. 423 с.

## МУНДАРИЖА

Кириш.....	3
------------	---

### I боб. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ АСОСЛАРИ

1.1. Кимёвий технология.....	9
1.2. Кимёвий технологиянинг ривожланиши ҳақида кискача маълумот.....	11
1.3. Кимёвий ишлаб чиқариш.....	14
1.4. Кимёвий-технологик жараён.....	17
1.5. Кимёвий ишлаб чиқариш ва кимёвий-технологик жараён кўрсаткичлари.....	19
1.6. «Умумий кимёвий технология» предмети.....	23

### II боб. КИМЁВИЙ ЖАРАЁНЛАР ВА РЕАКТОРЛАР

2.1. Кириш.....	24
2.1.1. Кимёвий реактор (умумий тушунча).....	24
2.1.2. Кимёвий жараёнлар ва реакторларни тадқиқ қилиш усулининг математик моделлаштирилиши.....	28
2.2. Кимёвий жараёнларнинг физик-кимёвий асослари.....	34
2.2.1. Кимёвий ўзгаришлар стехиометрияси.....	34
2.2.2. Кимёвий айланишлар термодинамикаси.....	42
2.2.3. Кимёвий реакциялар кинетикаси.....	52
2.2.4. Кимёвий жараёнлар синфланиши.....	57
2.3. Гомоген кимёвий жараёнлар.....	59
2.3.1. Оддий реакция.....	59
2.3.2. Мураккаб реакциялар.....	64
2.4. Гетероген кимёвий жараёнлар.....	67
2.4.1. Асосий тушунчалар.....	67
2.4.2. «Газ (суюқлик)-қаттиқ» системаси.....	69
2.4.3. «Газ (суюқлик)-суюқлик» системаси.....	83



2.5. Каталитик кимёвий жараён.....	89
2.5.1. Катализ ва катализаторлар.....	89
2.5.2. Катализаторнинг ғовакли донаси.....	92
2.5.3. Катализаторнинг ғовакмас донаси.....	103
2.5.4. Иссиклик ҳодисалари. Стационар режимлар сони ва уларнинг барқарорлиги.....	104
2.6. Кимёвий реактордаги жараёнлар.....	111
2.6.1. Кимёвий реактордаги жараённинг математик модели.....	111
2.6.2. Кимёвий реакторлар ва уларнинг математик моделлари классификацияси.....	117
2.6.3. Кимёвий реактордаги жараёнлар таҳлили.....	120
2.7. Кимёвий реактордаги изотермик жараён.....	122
2.7.1. Даврий идеал аралашиш ва идеал сиқиб чиқариш режимлари.....	122
2.7.2. Оқар реакторда идеал аралашиш режими.....	133
2.7.3. Узлуксиз жараёнларда идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқаришни солиштириш.....	135
2.7.4. Реакторлардаги ноидеал режимлар.....	137
2.8. Кимёвий реактордаги ноизотермик жараён.....	141
2.8.1. Реакторда иссиқлик алмашилишни ташкил этиш ва температура режимлари.....	141
2.8.2. Даврий идеал аралашув ва идеал сиқиб чиқариш оқимли иссиқлик алмашинувчи режимлар.....	143
2.8.3. Идеал аралашув оқим реакторида температура режимлари.....	149
2.8.4. Автотермик реактор.....	153
2.9. Саноат кимёвий реакторлари.....	155
2.9.1. Кимёвий реакторларни ҳисоблаш ҳақида умумий фикрлар.....	155
2.9.2. Кимёвий жараён ва реакторларни оптималлаш.....	158
2.9.3. Кимёвий реакторларнинг конструктив элементлари.....	168
2.9.4. Саноат кимёвий реакторлари схема ва конструкциялари.....	171

### III боб. КИМЁВИЙ ИШЛАБ ЧИҚАРИШЛАР

3.1. Кириш.....	184
3.2. Нефтни қайта ишлаш.....	185
3.2.1. Нефт кимёси комплексининг умумий тавсифи.....	185
3.2.2. Нефтни бирламчи ҳайдаш .....	188
3.2.3. Углеводородларнинг каталитик риформинги.....	190
3.2.4. Углеводородлар пиролизи билан олефинлар олиш .....	195
3.2.5. Этилбензол ва диэтилбензол ишлаб чиқариш .....	206
3.2.6. Стирол ишлаб чиқариш.....	212
3.2.7. Полиолефинлар ва полистирол ишлаб чиқариш .....	219

### IV боб. ЎҒИТЛАР ИШЛАБ ЧИҚАРИШ

4.1. Ўғитлар ишлаб чиқаришнинг умумий структураси .....	230
4.2. Сульфат кислота технологияси .....	232
4.2.1. Умумий маълумотлар .....	232
4.2.2. Ишлаб чиқариш усуллари.....	233
4.2.3. Сульфат кислотаси ва олеум хоссалари.....	236
4.2.4. Сульфат кислотасини ишлаб чиқариш учун хом ашё .....	240
4.2.5. Олтингургурт .....	241
4.2.6. Бошқа турдаги хом ашёлар .....	242
4.2.7. Олтингургуртли хом ашёларнинг қиёсий баҳоси.....	244
4.3. Олтингургурт диоксидини олиш .....	244
4.3.1. Колчеданни куйдириш .....	245
4.3.2. Олтингургуртли хом ашёни ёндиришда ишлатиладиган печлар.....	247
4.3.3. Газни аралашмалардан тозалаш .....	256
4.3.4. Тозалаш бўлимининг аппаратураси .....	258
4.4. Сульфат кислота ишлаб чиқаришнинг контакт усули.....	260
4.4.1. Олтингургурт тўрт оксидининг оксидланиши. Оксидланиш жараёнининг назарий асослари .....	260
4.4.2. Оксидланиш катализаторлари .....	263
4.4.3. Контакт аппаратлари .....	265
4.4.4. SO <sub>3</sub> абсорбцияси .....	270

4.4.5. Ишлаб чиқаришнинг замонавий технологик схемалари. Иккиланган контактлашиш (ИК) ва иккиланган абсорбциялашиш (ИА) схемаси .....	273
4.4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда иссиқликдан фойдаланиш .....	279
4.4.7. Сульфат кислота ишлаб чиқариш жараёнини автоматлаштириш .....	279
4.5. Нитроза усули билан сульфат кислота ишлаб чиқариш.....	283
4.5.1. Жараённинг назарий асослари .....	283
4.5.2. Технологик схема.....	285
4.6. Сульфат кислота ишлаб чиқаришда техника хавфсизлиги .....	287
4.7. Аммиак ишлаб чиқариш.....	289
4.7.1. Углерод оксидларидан тозалаш .....	299
4.7.2. Аммиак ишлаб чиқаришда энерготехнологик тизим.....	308
4.8. Азот кислотаси ишлаб чиқариш .....	310
4.9. Фосфат кислота ишлаб чиқариш .....	322

## **V боб. КИМЁ-ТЕХНОЛОГИЯ СИСТЕМАСИНИ ТАҲЛИЛ (АНАЛИЗ) ҚИЛИШ**

5.1. Кимё-технология системасининг энергетик ва эксергетик самарадорлиги. ....	328
5.2. Энерготехнологик система.....	337

## **VI боб. САНОАТ ЭКОЛОГИЯСИ АСОСЛАРИ**

6.1. Атроф-мухит тизим кабидир.....	341
6.1.1. Экология ва саноат экологияси ҳақида умумий тушунчалар.....	341
6.1.2. Табиий ресурсларнинг истеъмол қўламлари. ....	347
6.1.3. Ишлаб чиқариш ва атроф-мухитнинг ўзаро таъсири.....	351
6.1.4. Атроф-мухит ҳолатини назорат қилиш. ....	356
6.1.5. Атроф-мухит ифлосланишининг иқтисодий асоратлари.....	360
6.1.6. Чиқиндисиз ишлаб чиқаришни барпо этишнинг асосий тамойиллари .....	362

6.1.7. Чикитсиз ишлаб чиқаришларнинг иқтисодий самарадорлиги.....	368
6.2. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг экологик муаммолари.....	372
6.2.1. Кимёвий ишлаб чиқаришнинг биосферага зарарли таъсирот турлари .....	372
6.2.2. Сув ресурслари ва кимёвий технология .....	377
6.2.3. Кимё саноати чиқиндилари ва уларни зарарсизлантириш усулларининг таснифи. ....	394
6.2.4. Қаттиқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш.....	397
6.2.5. Суюқ чиқиндиларни фойдаланишга тиклаш ва зарарсизлантириш.....	403
6.2.6. Газсимон чиқиндилардан фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш.....	412
6.2.7. Кимё корхоналари қуйқумларини (шламларини) фойдаланиш учун тиклаш ва зарарсизлантириш .....	420
6.2.8. Ўта заҳарли ва радиоактив чиқиндиларни зарарсизлантириш.....	421
Тавсия этиладиган адабиётлар.....	426



*Т. А. Отақұзиев, Қ. М. Ахмеров, С. М. Туробжонов*

## **УМУМИЙ КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯ**

*Ўқув қўлланма*

*Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим  
вазирлиги томонидан ўқув қўлланма сифатида нашрга тавсия этилган*

*Мухаррир: А. Шаропов*

*Техник муҳаррир: А. Солиҳов*

*Мусахҳих: Г. Азимова*

*Компьютерда саҳифаловчи: Э. Ким*

**Нашриёт рақами: з – 146**

**Босишга рухсат этилди: 17.08.2009. Қоғоз бичими 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>,  
Шартли б.т. 25,11. Ҳисоб-нашриёт т. 23,5. Офсет усулида чоп этилди.  
457-буюртма. 500 нусхада. Келишилган нархда.**

**ЎЗР ФА «ФАН» нашриёти: 100170, Тошкент, И. Мўминов кўчаси, 9-уй.**

**«Niso Poligraf» ШК босмаҳонасида босилди. Тошкент, Ҳ. Бойқаро кўчаси, 41-уй.**

8000 =



**ОТАҚУЗИЕВ** Темиржон Азим ўғли 1936 йили туғилган. 1958 йили Ўрта Осиё политехника институти кимё-технология факультети (ҳозирги Тошкент кимё-технология институти)ни тамомлаган. Техника фанлари доктори, профессор. Илмий ишлари юқори самарали, ресурс ва энергия тежовчи цементлар ва бошқа боғловчи моддаларни ва ноорганик моддаларни маҳаллий хом ашё ва чиқиндилардан ишлаб чиқаришга бағишланган. 800 дан ортиқ илмий мақолалари, 40 дан ортиқ патент ва муаллифлик гувоҳномалари, 11 та монография, 10 та луғат, қатор дарслик, ўқув қўлланмалар (20 та), илмий-оммабоп асарлари (12 та) чоп этилган. Олиб борган илмий-ишлари, педагогик фаолияти ва жамоат ишларидаги фаоллиги туфайли 2007 йили «Буюк хизматлари учун» ордени билан мукофотланган.

**АҲМЕРОВ** Қудрат Аҳмерович 1937 йили туғилган. 1960 й. Урта Осиё политехника институтининг кимё-технология факультети (ҳозирги Тошкент кимё-технология институти)ни тамомлаган. Кимё фанлари доктори, Тошкент кимё-технология институти умумий кимё кафедраси профессори, Ўзбекистон олий таълим аълочиси. У факультетда декан уринбосари (1968-1983), декан (1991-1995) ва кафедра мудири (1983-2001) вазифаларида ишлади.

Илмий ишлари асосий органик синтез технологияси ва катализга бағишланган. 400 дан ортиқ илмий мақола, 40 га яқин муаллифлик гувоҳнома ва патентлар, учта монография, қатор дарслик, ўқув қўлланма ва илмий-оммабоп асарлар муаллифи. Журналистлар уюшмаси аъзоси.



**ТУРОБЖОНОВ** Садриддин Махаммадинович 1965 йилда туғилган. Тошкент политехника институтининг кимё-технология факультети (ҳозирги Тошкент кимё-технология институти)ни тугатган. Техника фанлари доктори, профессор. 1996–2003 йилларда Тошкент давлат техника университетида ўқув-услубий ва ўқув ишлари проректори лавозимида ишлаган, 2003 йилдан бошлаб Тошкент кимё-технология институти ректори.

Илмий изланишлари асосий органик ва нефт кимёси синтезига бағишланган бўлиб, соҳа бўйича 250 мақола, 8 патент ва муаллифлик гувоҳномалари, қатор дарслик, ўқув қўлланма ва монографиялари чоп қилинган. Проф. Туробжонов С.М. Тошкент шаҳар Халқ депутатлари кенгаши депутатидир.



ISBN 978-9943-09-892-3



9 789943 098923

# QARSHI MUHANDISLIK IQTISODIYOT INSTITUTI

## YUK XATI №46

«30» Январь 2017 йил

Jo'natuvchi Аламонов Собит омбор мудири

Qabul qiluvchi Турдиева М АРМ директори.

№	Mulk raqami	Materiallar nomi	Ulchov birligi	Soni	Narxi	Summa
1	0130900056	Трюмо	дона	1	400000	400000
2	0130900055	Кийим шкаф	дона	4	300000	1200000
		Жами:				1600000
Жами: Бир миллион олти юз минг сўм.						

Boshliq \_\_\_\_\_

Bosh hisobchi \_\_\_\_\_

Jo'natuvchi \_\_\_\_\_

Qabul qiluvchi \_\_\_\_\_