

33.11  
С 26

Тақризчилар:

техника фанлари доктори, профессор С. ЗОКИРОВ  
техника фанлари доктори, профессор А. ОРТИҚОВ

Мухаррир *Баҳром Акбаров*

**Салимов З.**

С 26 Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари.: Олий укув юрт.студ.учун дарслик. Т. 1.—Т.: Ўзбекистон, 1994.—366 б.

ISBN 5-640-01336

Ушбу дарсликда талабалар кимё ва озик-овқат технологиясининг умумий назарий асослари билан таништирилади. Китобда механик, гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнларининг назарий ва амалий томонлари, ушбу жараёнларда фойдаланиладиган энг муҳим қурилмаларнинг тузилиши ҳамда уларни ҳисоблаш усуллари баён этилган.

Дарсликда экология, модда ва энергияни тежаш, фан-техника ютуқлари асосида яратилган янги жараёнлар ва қурилмаларни ёритиш масалаларига алоҳида аҳамият берилган. Шу билан бирга, технологик жараёнларни замонавий усуллар билан тезлатиш ва муқобил бошқариш йуллари ҳам кўрсатилган.

Дарслик асосан олий техника билимгоҳларининг «Кимёвий технология» ихтисослиги бўйича таълим оладиган студентларга мўлжалланган бўлиб, ундан шу соҳа бўйича таҳсил олувчи аспирантлар, илмий ва инженер-техник ходимлар, шунингдек шу соҳага қизиққан барча китобхонлар ҳам фойдаланиши мумкин.

33.11я73

*Ҳурматли устозим техника фанлари  
номзоди, доцент Ҳуснутдин Тошпўла-  
товниг ёрқин хотирасига бағишланади*

## К И Р И Ш

Ҳозирги кунда кимё маҳсулотлари ва жараёнлари қўлла-  
нилмайдиган бирон-бир соҳа йўқ деса бўлади. Фан ва техниканинг  
долзарб йўналишлари бўлган биология, тиббиёт, физика, электро-  
ника, энергетика, радиотехника, машинасозлик, қурилиш соҳалари  
ва қишлоқ хўжалиги ривожланишини кимёсиз тасаввур этиб  
бўлмайди.

Ҳозирги кунда Республикамизда 20 дан ортиқ кимё корхонала-  
ри мавжуд бўлиб, турли-туман моддалар — минерал ўғитлар,  
сульфат кислота, ўсимликларни химоя қилиш воситалари, пла-  
стмасса, синтетик смолалар, цемент, сунъий тола, лок- бўёқлар  
ва бошқа бир қатор маҳсулотлар ишлаб чиқарилади. Мисол учун  
республикамизда энг йирик кимё корхоналари ҳисобланган  
Чирчиқдаги «Электрохимия саноати», Навоийдаги «Навоийазот»,  
Фарғонадаги «Азот» ишлаб чиқариш бирлашмаларининг маҳсу-  
лотлари аммиакли селитра, карбамид ва аммоний сульфат каби  
азотли ўғитларни ташкил этади. Олмалик ва Самарқанд кимё  
корхоналарида комплекс ўғит ҳисобланган аммофос, Навоий  
электрохимия заводида турли пестицидлар, Фарғона «Азот» ишлаб  
чиқариш бирлашмасида хлорат магнийли дефолиант ишлаб  
чиқарилмоқда.

Ўзбекистонда кимёнинг ривожланиш тарихи 1920 йилда  
Туркистон (ҳозирги Тошкент) Давлат дорилфунунининг ташкил  
этилиши билан узвий боғлиқ. Профессорлардан С. Н. Наумов,  
М. И. Прозин, Е. В. Раковский кабилар республикамизда  
кимёнинг органик, аорганик, физик ва бошқа тармоқларини  
ривожлантиришда ўзларининг катта ҳиссаларини қўшдилар.

Ўзбекистонда кимё фани ва саноатининг ривожланишида Улуғ  
Ватан уруши йилларида бу ерга кўчиб келган саноат корхоналари,  
Москва кимё-технология институти, Харьков кимё институти,  
Л. Я. Карпов номидаги физик-кимё институти, Кимё саноати  
лойиҳалаш институтининг бўлимлари ва лабораторияларнинг  
ҳиссаси катта бўлди. Бу йилларда Ўзбекистон кимёгарлари собиқ  
Иттифокнинг йирик олимлари — академиклар И. А. Каблуков,  
В. А. Каргин, М. М. Дубинин, И. П. Лосев ва бошқалар билан  
хамкорликда илмий изланишлар олиб бордилар.

Республикамизда дастлаб, 1933 йили Кимё институти ташкил этилди. Кимё институти лабораториялари асосида кейинчалик 6 та илмий-тадқиқот марказлари — Усимлик моддалари кимёси, Пахта целлюлозаси кимёси ва технологияси, Урта Осиё нефтни қайта ишлаш саноати (кейинчалик кимёвий технология ва катализ илмий-тадқиқот институти), Биорганик кимё, Полимерлар кимёси ва физикаси, Уғитлар институти ташкил этилди.

Ўзбекистонда олиб борилаётган изланишларда кимёгар олимларимизнинг катта гуруҳи иштирок этмоқда. Булар орасида Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 16 та ҳақиқий ва мухбир аъзолари, 100 дан ортик фан докторлари, 1800 дан ортик кимё ва техника фанлари номзодлари бор. Кимё фанини ривожлантиришда Ўзбекистон Фанлар академиясининг ҳақиқий аъзолари О. С. Содиков, С. Ю. Юнусов, Х. У. Усмонов, М. Н. Набиев, К. С. Аҳмедовлар яратган мактабларнинг хизматлари катта аҳамиятга молик.

Ҳозирги вақтда кимё фани ва технологияси соҳасида олий ўқув юртларидаги кимё кафедралари ва илмий-тадқиқот лабораторияларида ҳам изланишлар олиб борилмоқда. Кимёвий технология, жумладан «Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари» фани бўйича илмий-тадқиқотлар Тошкентдаги Давлат техника дорилфунуни, Кимё-технология, Автомобиль йўллари, Бухородаги Озиқ-овқат ва енгил саноат технологияси институтларида, Ўзбекистон Фанлар академиясининг Кимё илмгоҳида кенг куламда олиб борилмоқда. Ўзбекистонда кимёвий технологиянинг жараёнлари ва қурилмалари фанини ривожлантиришга техника фанлари докторлари, профессорлар Н. Ризаев, И. П. Левш, Н. Юсуфбеков, С. Зокиров, Ш. Ғуломов, А. Ортиқов, В. И. Левш ва М. Юсиповлар муҳим ҳисса қўшишди.

1989 йилнинг сентябрь ойида Тошкентда умумий ва амалий кимё бўйича XIV Менделеев съездининг ўтказилиши Ўзбекистонда кимё фани ва саноатининг кенг ривож топганлиги ва, энг муҳими, етук кимёгар олимларнинг етишиб чиққанлигини эътироф этилиши, деб айтиш мумкин. Ушбу съездда 27 та чет эл давлатларидан 2 мингдан ортик олимлар ва мутахассислар қатнашди.

Ҳозирги кунда кимё ва технология фани олдида бир қатор долзарб муаммолар турибди. Булар қаторига қуйидаги илмий йўналишлар киради:

— янги конструктор ва функционал органик ва ноорганик материаллар (полимер, композицион, керамик ва ҳоказо), эластомерлар, сунъий ва синтетик толалар, уларни коррозия ва емирилишдан сақлаш усуллари;

— янги юқори самарали кимёвий технология жараёнлари, жумладан катализик, мембранали, электрокимёвий жараёнлар, кимёвий реакцияларни юқори энергия ва физик методлар ёрдамида тезлатиш;

— минерал хомашёлар, нефть, газ ва қаттиқ ёқилги моддаларни чуқур ва комплекс кимёвий қайта ишлаш билан боғлиқ бўлган янги жараёнлар;

— кимёвий анализнинг янги инструментал усуллари, кимёвий жараёнлар ҳамда материал ва буюмлар хоссаларининг диагностикаси;

— кимёвий энергетика, янги кимёвий ток манбаларини ва энергияни бошқа ҳолатга ўтказиш тизимларини яратиш;

— кимёвий технология жараёнларининг хавфсизлиги ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш;

— кимёвий информатика.

Республикамиз кимёгарлари ва мутахассислари олдида ҳали ўз ечимини кутаётган улкан муаммолар турибди. Бу муаммолар жумласига кам тарқалган ва ноёб кимёвий элементларни маъданлардан ажратиб олишнинг самарали усулларини яратиш, саноат ва қишлоқ хўжалиги чиқиндиларини қайта ишлаш натижасида халқ хўжалиги учун муҳим бўлган материаллар олиш, чиқиндисиз ва кам энергия талаб қиладиган технология жараёнларини ишлаб чиқиш, атроф-муҳит ва инсон саломатлиги учун зарарсиз ҳамда кам миқдорда сарфланадиган ўсимликларни химоя қилишнинг кимёвий воситаларини яратиш, саноат оқова сувларини тозалаш учун самарали сирт-актив бирикмалар танлаш, тегишли хоссаларга эга бўлган композицион, конструктив янги материаллар ва электр ўтказувчан полимерлар олиш, халқ саломатлиги учун зарур бўлган дори-дармонлар яратиш каби-ларни киритиш мумкин.

Ҳозирги кунда республикамиздаги олий ўқув юрларида олиб борилаётган тадбирларнинг асосий мақсади мутахассислар тайёрлаш сифатини тубдан яхшилашдан иборатдир. Бу ишларни жадаллаштиришнинг қуроли бўлиб таълим, ишлаб чиқариш ва фаннинг узвий алоқаси хизмат қилади.

Юқорида айтиб ўтилган муҳим вазифаларни муваффақиятли ҳал этиш учун юқори малакали инженер кадрлар керак. Бундай кадрлар принципиал янги илмий гоёлар ва юксак техника ечимларни яратиш қобилиятига эга бўлишлари зарур. Халқ хўжалигини фан-техника тараққиёти асосида жадаллаштириш — бозор иқтисодиётининг муҳим вазифаси ҳисобланади. Бу улкан ишларни бажариш кадрларнинг малакасига боглиқдир.

Кимё ва озик-овқат саноати учун малакали инженер кадрлар тайёрлашда «Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари», қисқача «Жараёнлар ва қурилмалар» фани катта аҳамиятга эга. Бу фан талабаларга ўз ихтисосликларини назарий жиҳатдан чуқур эгаллашга, уларнинг инженерлик билимларини мустаҳкамлашга, қандай қилиб ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва технологик қурилмалардан унумли ва муқобил режимда фойдаланиш мумкинлигини ўргатади.

«Жараёнлар ва қурилмалар» фани бўйича биринчи маротаба ўзбек тилида дарслик 1987 йили нашр қилинди (З. Салимов, И. Тўйчиев, Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. Тошкент, «Ўқитувчи»). Ҳозирги вақтга келиб ушбу фан соҳасида бир қатор янгиликлар юз берди. Ана шу янгиликлар асосида фанни ўқитишда ҳам ўзгартиришлар киритилди.

Жумладан, 1990 йили Тошкент кимё-технология институтида «Кимё ишлаб чиқаришининг асосий жараёнлари ва кимёвий кибернетика» ихтисослиги бўйича инженер-технолог мутахассислар тайёрлаш бошланди.

Мазкур дарсликда кимёвий технологиянинг асосий бўлимлари, яъни механик, гидромеханик, иссиқлик ўтказиш ва модда алмашиш жараёнлари, тегишли машиналар, қурилмалар баён этилган. Дарсликда МДХ, чет эл ҳамда Ўзбекистон олимларининг «Жараёнлар ва қурилмалар» фанини ривожлантиришдаги хизматлари анча тулиқ ёритиб берилган. Китобнинг ҳамма боблари умумий принцип асосида (жараённинг аҳамияти, унинг назарияси, тегишли қурилмаларнинг тузилиши, уларни ҳисоблаш, жараённи тезлатиш усуллари, такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар) ёзилган. Барча ҳисоблар Халқаро бирликлар системасида бажарилди.

Муаллиф ушбу дарсликни ёзиш жараёнида материаллар танлашда берган ёрдамлари учун техника фанлари номзодлари, доцент И. Тўйчиев, доцент И. Раҳимов ҳамда кимё фанлари номзоди Г. Зулпановага ўз миннатдорчилигини билдиради.

Ушбу дарслик муаллифнинг кўп йиллик педагогик тажрибасидан келиб чиқиб ёзилган бўлсада, айрим камчиликлардан холи бўлмаслиги мумкин. Шунинг учун китобнинг сифатини яхшилашга қаратилган ўз фикр-мулоҳазаларини айтган ўртоқларга муаллиф олдиндан миннатдорчилик билдиради:

Бизнинг адрес: *Тошкент, — 129, Навоий кўчаси, 30. «Ўзбекистон» нашриёти.*

## АСОСИЙ ҚОНУН-ҚОИДАЛАР

---

### 1-БОБ. «ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР» ФАНИ ТЎҒРИСИДА УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

#### 1.1-Ў. «ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР» ФАНИНИНГ МАЗМУНИ

Кимёвий технология фанининг асосий мақсади — табиий ва сунъий хомашёларнинг энг тежамли ва *экологик жиҳатдан тоза* кимё усуллари ёрдамида қайта ишлаб, керакли материаллар ҳамда маҳсулотлар олишдан иборат. Замонавий кимёвий технология, табиий ва техника фанларининг ютуқларига асосланиб, физик ва кимёвий жараёнлар, машиналар ва қурилмаларнинг бирлигини, саноат миқёсида турли моддалар, маҳсулотлар, материаллар ва буюмларни ишлаб чиқариш технологик жараёнларини энг қулай йўллар билан олиб бориш, уларни бошқариш муаммоларини ўрганади.

Кимё саноати корхоналарида турли технологик жараёнлар амалга оширилади. Бу жараёнлар давомида хомашё ва материалларнинг ички тузилиши, таркиби, агрегат ҳолатлари ўзгаради. Кимёвий технологик жараёнлар кимёвий реакциялардан ташқари турли физик-кимёвий жараёнлардан иборат. Бундай жараёнларга қуйидагилар киради: суюқлик ва қаттиқ материалларни узатиш, қаттиқ моддаларни майдалаш ва саралаш, газларни сиқиш ва узатиш, моддаларни иситиш ва совитиш, суюқликларни аралаштириш, ҳар хил жинсли аралашмаларни ажратиш, эритмаларни буглатиш, ҳўл материалларни қуритиш ва бошқалар. Демак, турли кимёвий материал ва маҳсулотлар (кислоталар, ишқорлар, тузлар, минерал ўғитлар, лок-бўёк, полимер ва синтетик материаллар ва ҳоказо) ишлаб чиқариш технологияси умумий қонуниятлар билан ифодаланган бир типдаги физик ва физик-кимёвий жараёнлардан иборат бўлади. Бу технологик жараёнлар турли ишлаб чиқаришларда ишлаш принциплари бир хил бўлган машина ва қурилмаларда олиб борилади.

Кимё технологиясининг турли тармоқлари учун умумий бўлган жараён ва қурилмалар асосий жараёнлар ва қурилмалар деб юритилади. Масалан, суюқлик аралашмаларини ажратишда кўп ишлатиладиган ҳайдаш жараёнини кўрамиз. Ҳайдаш жараёнидан кислород ишлаб чиқаришда, суюқ ҳавони ажратишда, нитрат кислота ишлаб чиқаришда, сув ва нитрат кислотани ажратишда, синтетик каучук ишлаб чиқаришда, мураккаб органик

маҳсулотларни ажратишда ва бошқа бир қатор ишлаб чиқаришда кўп фойдаланилади.

Асосий қурилмалар қаторига, масалан, тарелкали ва насадкали колонналар киради. Бундай колонналар ёки қурилмалар ҳайдаш (суюқ аралашмаларни иссиқлик таъсирида ажратиш), абсорблаш (газ ва буғ аралашмаларидан бирор компонентни ютувчи суюқлик ёрдамида ажратиш), экстраклаш (суюқ аралашмаларни эритувчи ёрдамида ажратиш) каби жараёнларни амалга оширишда ишлатилади.

Кимё саноатининг кўпчилиги тармоқларида ишлатиладиган насос ва компрессорлар, филтёр ва центрифугалар, циклон ва скрубберлар, иссиқлик алмаштиргич ва қуриткичлар ҳам асосий қурилмалар жумласига киради.

«Жараёнлар ва қурилмалар» курсида асосий жараёнларнинг назарияси, ушбу жараёнлар амалга ошириладиган машина ва қурилмаларнинг тузилиш принциплари ва уларни ҳисоблаш услублари ўрганилади. Асосий жараёнларнинг қонуниятларини ўрганиш ва қурилмаларни ҳисоблаш усулларини тузишда физика, кимё, физик-кимё, термодинамика, иктисод каби фанларнинг фундаментал қонунлари асос қилиб олинади. «Жараёнлар ва қурилмалар» курси кимё саноатининг турли тармоқларида ишлатиладиган ва ташқи қўринишидан ҳар хил бўлган жараёнлар ва қурилмаларнинг ўхшашликларини аниқлашга асосланади.

Замонавий катта ўлчамдаги ишлаб чиқариш жараёнларини лойиҳалашда ҳам «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг аҳамияти катта. Ўзлаштирилиши керак бўлган жараён аввал лаборатория шароитида, кичик ўлчамдаги қурилмаларда (моделларда) ўрганилади. Сўнгра олинган тадқиқот натижалари катта ўлчамдаги саноат қурилмаларига кўчирилади. Шундай қилиб, кичик тизим (система)ларда олинган натижалардан катта системаларда фойдаланиш қонуниятлари *моделлаштириш* деб юритилади. Моделлаштириш «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг муҳим вазифаларидан бири ҳисобланади.

«Кимёвий технология жараёнлари ва қурилмалари» фанининг охириги йиллардаги ютуқлари назарий ва амалий вазифаларни ҳал этишда замонавий ҳисоблаш машиналаридан кенг фойдаланиш билан боглиқдир. Ҳисоблаш техникасидан фойдаланиш кимёвий технология муаммоларини ҳал этишда янгича йул тутишни, яъни математик моделлаштириш ва системали тадқиқот қилиш усулларини кўрсатиб берди. Шундай қилиб кимёвий технология фанида янги йўналиш — кимё-технология жараёнларининг кибернетикаси пайдо бўлди.

«Жараёнлар ва қурилмалар» курси кимё, озик-овқат, нефтни қайта ишлаш ва шу каби бир қатор саноат тармоқлари учун инженер-технолог кадрлар тайёрлашда катта аҳамиятга эга. Бу фан асосида тегишли жараёнларни ҳисоблаш, таҳлил қилиш, уларнинг энг мақбул катталикларини топиш, керакли қурилмаларни лойиҳалаш ва уларни ҳисоблаш мумкин. Ушбу курс машина

ва қурилмаларни самарали ишлатиш ҳақида маълумот беради ҳамда уларнинг қувватини ошириш усулларини ўргатади.

## 1.2-§. «ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР» ФАНИНИНГ КЕЛИБ ЧИҚИШИ ВА РИВОЖЛАНИШИ

«Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиш тарихи кимё саноатининг ривожланиши билан боғлиқ. Кимё саноати XVIII асрнинг охири ва XIX асрнинг бошларида пайдо бўла бошлади ва қисқа давр ичида ривожланган мамлакатларда халқ ҳужалигининг энг муҳим тармоқларидан бирига айланди. Кимё саноатининг ривожланиши билан ишлаб чиқариш жараёнларини умумлаштирувчи ва қурилмалар ҳисобини самарали ҳал қилувчи фанга эҳтиёж кучайди.

Россияда «Жараёнлар ва қурилмалар» фани ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб проф. В. А. Денисов 1828 йилда илгари сурди. Кейинчалик Д. И. Менделеев кимё технологияси асосий жараёнларининг синфларини тузиб чиқди. XIX асрнинг 90 йиллари охирида проф. А. К. Крупский Петербург технология институтида янги ўқув предмети — «Асосий жараёнлар ва қурилмаларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш» бўйича маъруза ўқий бошлади. Бироз кейинроқ Москва олий техника ўқув юртларида проф. И. А. Тищенко шу янги фан бўйича маърузалар ўқий бошлади. Шу сабабли А. К. Крупский ва И. А. Тищенко «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг асосчилари ҳисобланади. 1935 йили проф. А. Г. Касаткин томонидан «Кимё технологиясининг асосий жараён ва қурилмалари» дарслиги чоп этилди. Бу китоб ушбу фаннинг ривожланишида катта аҳамиятга эга бўлди.

Сўнгги йиллар мобайнида «Жараёнлар ва қурилмалар» фани узлуксиз ривожланиб келмоқда. Янги кимё ишлаб чиқаришларини илмий асосда тузиб чиқишда, юқори унумли қурилмалар яратишда, технология жараёнларини жадаллаштиришда ушбу фаннинг аҳамияти йилдан-йилга ортиб бормоқда.

Ўзбекистонда «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг ривожланишида Тошкент кимё-технология институти қошидаги «Кимёвий технология жараёнлари ва қурилмалари» кафедрасининг ҳам ҳиссаси катта. Бу кафедра 1940 йилда ташкил этилган бўлиб, унда кимё ва озиқ-овқат саноати ишлаб чиқариш жараёнларини тезлатиш бўйича кенг қўламда илмий-тадқиқот ишлари муваффақиятли олиб борилмоқда. Кафедр ҳодимлари томонидан чанглари тозалаш, пневмотранспорт, абсорбланиш, адсорбланиш, экстракцани ва қуритиш жараёнларини турли усуллар билан (пульсацион ва вибрацион тебранишлар, ўзгарувчан электромагнит майдони, ҳаракатчан насадкалар, мавҳум қайнаш ҳолати, қаттиқ фаза қатламининг геометрик шаклини ўзгартириш ёрдамида) жадаллаштиришнинг назарий ва амалий асослари яратилди, сочилувчан қаттиқ моддаларнинг гидромеханик, иссиқлик-физикавий ва диффузион хоссалари аниқланди, юқори самарали

қурилмалар кашф қилинди. Илмий ишларнинг асосий натижалари республикамизнинг бир қатор корхоналарига татбиқ қилинди. Кафедра таклиф қилган сфера ва ярим сфера қатламли адсорберлар Фарғонадаги кимёвий тола заводидида, мавҳум қайнаш қатламли скрубберлар ва абсорберлар эса «Навоийазот» ишлаб чиқариш бирлашмасида, Ўзбекистон қийин суюқланувчи ва ўтга чидамли металллар комбинатида кенг ишлатилмоқда.

### 1.3-§. АСОСИЙ ЖАРАЁНЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Кимё ва озиқ-овқат саноатида турли-туман технология жараёнлари ишлатилади. Бундай жараёнлар айрим белгиларига асосан бир неча синфларга бўлинади. Технология жараёнларини уларнинг ҳаракатлантирувчи кучига кўра турларга бўлиш мақсадга мувофиқ. Шунга кўра асосий жараёнлар 5 гуруҳга бўлинади:

1. Механик жараёнлар;
2. Гидромеханик жараёнлар;
3. Иссиқлик алмашилиш жараёнлари;
4. Модда алмашилиш жараёнлари;
5. Кимёвий жараёнлар.

Механик жараёнлар қаттиқ материалларни механик куч таъсирида қайта ишлаш билан боғлиқ. Бундай жараёнлар каторига майдалаш, саралаш, узатиш, аралаштириш ва шу кабилар киради. Бу жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисмларнинг механик қонуниятлари билан ифодаланади. Бунда ҳаракатлантирувчи куч вазифасини механик босим кучи ёки марказдан қочма куч бажаради.

Суюқ ва газсимон системалардаги ҳаракат (аралаштириш, филтрлаш, чўктириш) билан боғлиқ жараёнлар гидромеханик жараёнларни ташкил этади. Бундай жараёнларнинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан аниқланади. Гидромеханик жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучи — гидростатик ва гидродинамик босимдир.

Иссиқлик алмашилиш жараёни — температуралар фарқи мавжуд бўлганда бир (температураси юқори) жисмдан иккинчи (температураси паст) жисмга иссиқликнинг ўтишидир. Бу гуруҳга иситиш, совитиш, буғлатиш, конденслаш ва сунъий совуқ ҳосил қилиш жараёнлари киради. Жараённинг тезлиги гидродинамик режимга боғлиқ ҳолда иссиқлик узатиш қонунлари билан ифодаланади. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи сифатида иссиқ ва совуқ муҳитлар ўртасидаги температуралар фарқи ишлатилади.

Модда алмашилиш жараёнлари — бир ёки бир неча компонентларнинг бир фазадан фазаларни ажратувчи юза орқали иккинчи фазага ўтишидир. Компонентлар бир фазадан иккинчи фазага молекуляр ва турбулент диффузиялар ёрдамида ўтади. Шу сабабли бу жараёнлар *диффузион жараёнлар* ҳам дейилади. Бу

гурухга абсорблаш, адсорблаш, суоқликларни ҳайдаш, экстракцлаш, кристаллаш, куриштиш жараёнлари кирази. Жараёнларнинг тезлиги фазаларнинг гидродинамик ҳаракатига боғлиқ бўлиб, модда ўтказиш қонуниятлари билан ифодаланади. Модда алмашилиш жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи фазалардаги концентрацияларнинг фарқи билан белгиланади.

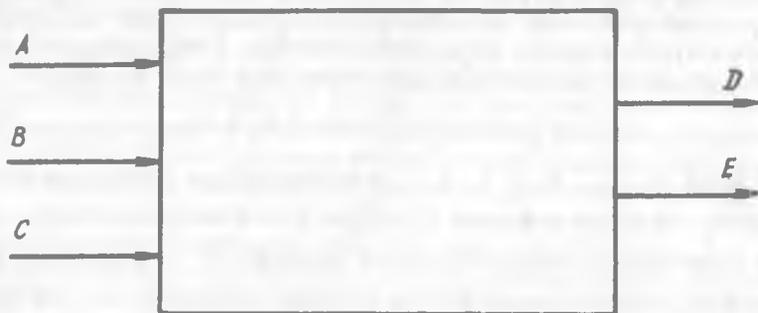
Кимёвий жараёнлар моддаларнинг ўзаро таъсири натижасида янги бирикмаларнинг ҳосил бўлишидир. Кимёвий реакцияларда иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари ҳам содир бўлади. Бу гуруҳдаги жараёнларнинг тезлиги кимёвий кинетика қонуниятлари билан ифодаланади. Реакциялар тезлиги, айниқса, саноат миқёсида, моддаларнинг гидромеханик ҳаракатига, кимёвий жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучи эса реакцияга киришаётган моддаларнинг концентрациясига боғлиқ бўлади.

Кимё саноатидаги технология жараёнлари даврий ва узлуксиз равишда ўтказилади. Жараёнлар вақт давомида параметрларнинг ўзгаришига қараб тургун ва тургунмас бўлади. Тезлик, концентрация, температура каби параметрлар вақт давомида ўзгарса, жараён *тургунмас*, аксинча, агар бу параметрлар ўзгармаса жараён *тургун* дейилади. Кимё ва озик-овқат саноатида асосан узлуксиз технология жараёнларидан фойдаланилади.

#### 1.4-§. МОДДА ВА ЭНЕРГИЯНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНЛАРИ

Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари тезлиги физика, кимё ва физик-кимёнинг умумий қонунларига бўйсунди. Бу қонунларни маълум бир жараёнга татбиқ этиш асосида жараённинг назарияси яратилади. Бунда модда ва энергиянинг сақланиш ва ўтказиш ҳамда системанинг мувозанат қонунлари муҳим аҳамиятга эга.

Модда ва энергиянинг сақланиш қонунлари «Жараёнлар ва қурилмалар» фанида алоҳида ўринни эгаллайди. Ушбу фанда модда ва энергиянинг сақланиш қонунлари моддий ва энергетик баланслар шаклида ишлатилади. Масалан, қурилмада (1.1- расм) қандайдир жараён рўй бермоқда. Бу қурилмага жараёнда қатнашаётган А, В ва С компонентлар киритилмоқда. Ушбу



1.1- расм. Моддий баланс схемаси

компонентлар газ, буг, суюклик ёки қаттик ҳолатда бўлиши мумкин. Қурилмада рўй берган жараён натижасида ҳосил бўлган моддалар Д ва Е қурилмадан чиқади. Маълумки, қурилмага киритилаётган моддаларнинг массавий йиғиндиси қурилмадан чиқаётган моддаларнинг массавий йиғиндисидан кўп ҳам, кам ҳам бўлиши мумкин эмас. Бу моддаларнинг сақланиш қонунидан келиб чиқади, албатта. Шунга асосланиб қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

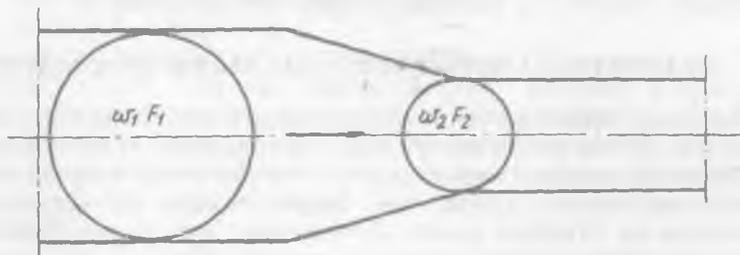
$$m_A + m_B + m_C = m_D + m_E \quad (1.1)$$

бу ерда  $m_A, m_B, m_C, m_D, m_E$ — А, В, С ва Е компонентларнинг массаси.

(1.1) тенглама моддий балансни ифодалайди.

Ҳаракатдаги оким учун модданинг сақланиш қонуни *узлуксизлик тенгламаси* орқали ифодаланади. Қурилманинг (1.2- расм) иккита кесими  $F_1$  ва  $F_2$  орқали  $\omega_1$  ва  $\omega_2$  тезлик билан ўтаётган оким учун узлуксизлик тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$F_1 \omega_1 = F_2 \omega_2 \quad (1.2)$$

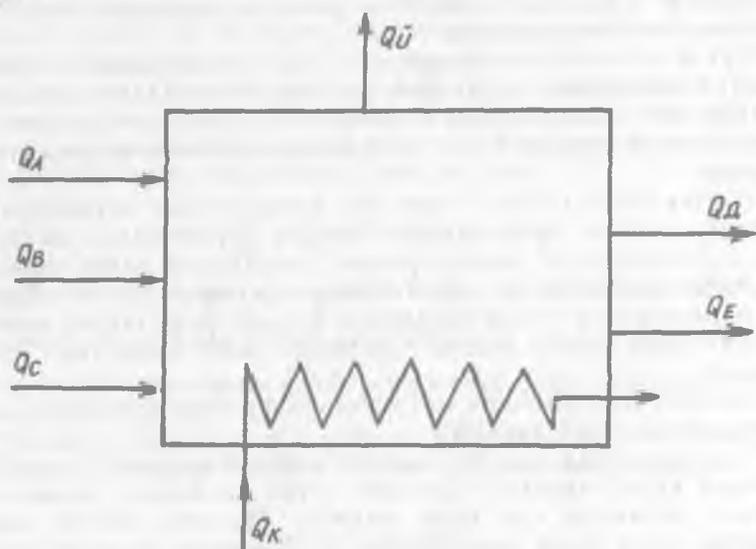


1.2- расм. Ҳаракатдаги системалар учун окимнинг узлуксизлиги.

Қурилмага киритилаётган ёки ундан чиқаётган модда ўзида маълум миқдорда энергия сақлайди. Қурилмага ташқаридан қўшимча энергия (масалан, электр токи ёрдамида қиздириш) ҳам киритилиши мумкин. Жараён давомида энергиянинг маълум бир қисми атроф муҳитга тарқалади (1.3- расм). Энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_k = Q_D + Q_E + Q_n \quad (1.3)$$

бу ерда  $Q_A, Q_B, Q_C$ — А, В, С компонентлари билан қурилмага кирган иссиқлик миқдори;  $Q_D, Q_E$ — Д ва Е компонентлари орқали қурилмадан чиққан иссиқлик миқдори;  $Q_k$ — қурилмага ташқаридан киритилган қўшимча иссиқлик миқдори;  $Q_n$  атроф муҳитга тарқалган иссиқлик миқдори.



1.3- расм. Энергетик баланс схемаси.

(1.3) тенглама энергетик балансни ифодалайди. Хусусий ҳолатда ушбу тенглама иссиқлик балансини билдиради.

Моддий ва иссиқлик баланси тенгламалари технология жараёнларини ўрганишда кўп ишлатилади.

### 1.5- §. СИСТЕМАНИНГ МУВОЗАНАТ ҚОНУНЛАРИ

Мувозанатда турган системаларнинг ҳолати вақт давомида ўзгармайди. Бундай системалар қаторига бир жинсли системалар (газ, суюқлик) киради, уларнинг ҳамма қисмларида босим ва температура бир хил қийматга эга бўлади. Системани мувозанатдан чиқариш учун ташқаридан бирор куч таъсир этиши керак (масалан, механик куч ёки иссиқлик таъсири).

Ҳисоблаш ишларида система ҳолатини ташқи куч таъсирида қайси йўналишда ўзгаришини билиш муҳим аҳамиятга эга. Бу масалани ҳал этиш термодинамиканинг иккита қонуниятига асосланади: Ле-Шателье қонуни ва Гиббснинг фазалар қондаси.

Ле-Шателье принципига асосан система мувозанатдан чиқарилганда унда шундай кучлар ҳосил бўладикки, уларнинг йўналиши системани мувозанатдан чиқараётган кучлар йўналишига қарама-қарши бўлади. Ле-Шателье принципини амалиётда қўллаш орқали биз системада тегишли ўзгаришга эга бўлиш учун қандай параметрларни ўзгартириш имкониятига эга бўламиз.

Гиббснинг фазалар қондаси система компонентлари, фазалар сони ва эркинлик даражаси сони ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди:

$$C = K - \Phi + 2 \quad (1.4)$$

бу ерда  $\Phi$  — фазалар сони;  $S$  — эркинлик даражаси сони;  $K$  — системадаги компонентлар сони.

Бутун масса бўйича физикавий жиҳатдан бир жинсли бўлган маълум миқдордаги модда *фаза* деб юритилади. Одатда фаза бир ёки бир неча компонентдан ташкил топган бўлади. *Компонент* — тоза кимёвий бирикма бўлиб, бир фазадан иккинчи фазага ўтиши мумкин.

Системанинг ҳолати унинг бир қатор муҳим параметрлари бирлиги орқали ифодаланади. Бундай параметрлар қаторига *босим, температура, концентрация, солиштирама ҳажм* киради.

*Эркинлик даражаси* — системанинг ҳеч нарсага боғлиқ бўлмаган параметрлари сонини билдиради. Бундай эркин танлаб олинган параметрлар орқали қолган параметрларнинг қийматини топиш мумкин.

Ле-Шателье принципи ва Гиббснинг фазалар қондасини аниқ мисолларда кўриб чиқамиз.

Сув билан тўлдирилган, юқориги қисмида поршен бўлган ёпик идишни кўриб чиқамиз. Сувнинг устки қисмидан поршенгача бўлган ораликда сув буғи мавжуд. Поршен пастга қараб туширилганда босим ҳосил бўлади. Ле-Шателье қонунига асосан, ўрганилаётган системада изотермик шароит ҳосил бўлган тақдирда, босим таъсирига қарама-қарши бўлган жараён — буғнинг конденсланиши бошланади.

Гиббснинг фазалар қондаси кўп фазали системаларда мувозанат шароитини аниқлашга ёрдам беради. Масалан, этил спиртининг сувдаги эритмаси билан тўлдирилган ёпик идиш бор. Бу системада фазалар сони 2 та: буғ ва суюқлик. Компонентлар сони ҳам иккита этил спирти ва сув. Бундай ҳолатда эркинлик даражаси сони 2 га тенг бўлади.

Ушбу системанинг ҳолатини белгилайдиган параметрлар қаторига спиртининг температураси, босими ва концентрацияси киради. Демак учта параметрдан иккитасини (масалан, концентрация ва температурани) эркин ҳолатда ўзгартиришимиз мумкин. Системанинг табиати билан боғлиқ бўлган босим, бизга боғлиқ бўлмаган равишда ўзгаради. Умуман олганда, фазалар қондаси системанинг мувозанатини белгилловчи ва эркин ҳолатда олиниши мумкин бўлган параметрларнинг сонини аниқлаш имкониятини беради.

#### 1.6-§. МОДДА ВА ЭНЕРГИЯНИНГ УТҚАЗИШ ҚОНУНЛАРИ

Кимёвий технология жараёнлари (механик, гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашилиш)нинг асосини материал оқимлар ўртасидаги модда ёки энергия алмашинуви ташкил этади. Ушбу жараёнларнинг негизи гидродинамика ва термодинамика қонунларига асосланади. Жараёнларни таҳлил қилишда аввал модда ва энергиянинг сақланиш қонунларига асосан материал ва энергетик оқимларнинг миқдори аниқланади, сўнгра ҳаракатлантирувчи куч топилади.

Ишлаб чиқаришда ҳар бир жараённинг тезлигини оширишга ҳаракат қилинади, бу нарса ўз навбатида қурилмаларнинг иш унумини кўпайтиради. Асосий жараёнларнинг кинетикасини ўрганиш қуйидаги қонуниятни беради: жараёнларнинг ўтиш тезлиги ҳаракатлантирувчи кучга тўғри ва қаршиликка тесқари пропорционал. Масалан, гидромеханик (филтрлаш) жараён учун қуйидаги кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$\frac{dV}{Fdt} = \frac{1}{R_1} \Delta P = K_1 \Delta P \quad (1.5)$$

бу ерда  $V$  — филтрат миқдори;  $F$  — филтр юзасининг майдони;  $t$  — вақт;  $R_1$  — филтрнинг қаршилиги;  $K_1 = \frac{1}{R_1}$  — филтрловчи тўсиқнинг ўтказувчанлиги;  $\Delta P$  — босимлар фарқи (ҳаракатлантирувчи куч).

Иссиқлик алмашиниш жараёнлари термодинамика қонунларига асосан қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dQ}{Fdt} = \frac{1}{R_2} \Delta t = K_2 \Delta t \quad (1.6)$$

бу ерда  $Q$  — ўтказилган иссиқлик миқдори;  $F$  — иссиқлик алмашиниш юзаси;  $t$  — вақт;  $R_2$  — иссиқлик ўтказишга бўлган қаршилик;  $K_2 = \frac{1}{R_2}$  — иссиқлик ўтказиш коэффициентини;  $\Delta t$  — температуралар фарқи (ҳаракатлантирувчи куч).

Модда алмашиниш (ёки диффузион) жараёнлари учун қуйидаги кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$\frac{dM}{Fdt} = \frac{1}{R_3} \Delta C = K_3 \Delta C \quad (1.7)$$

бу ерда  $M$  — ўтказилган модда миқдори;  $F$  — модда алмашиниш юзаси;  $R_3$  — модда ўтказишга бўлган қаршилик;  $K_3 = \frac{1}{R_3}$  — модда ўтказиш коэффициентини;  $\Delta C$  — концентрациялар фарқи (ҳаракатлантирувчи куч).

Гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашиниш жараёнлари учун қуйидаги умумий кинетик тенгламани ёзиш мумкин:

$$I = Kx \quad (1.8)$$

бу тенгламада  $I$  — жараённинг тезлиги;  $x$  — ҳаракатлантирувчи куч;  $K$  — кинетик коэффициент.

Ўрганилаётган жараённинг турига қараб кинетик коэффициент ҳар хил бўлиши мумкин (масалан, иссиқлик ёки модда алмашиниш коэффициентини, филтрловчи муҳитнинг ўтказувчанлигини).

(1.8) тенглама маълум бир ҳаракатлантирувчи куч таъсирида борадиган жараёнларга мос келади. Агар икки ёки ундан ортиқ жараёнлар бир вақтнинг ўзида параллел кетса, бунда ҳар бир

жараённинг тезлиги тегишли ҳаракатлантирувчи куч миқдорига боғлиқ бўлади. Агар системада бир пайтда комплекс жараёнлар (диффузия ва иссиқлик жараёнлари) содир бўлса, уларнинг ичидан асосий (бош) жараён ажратиб олинади. Одатда асосий жараённинг тезлиги қолган жараёнларнинг тезлигига нисбатан катта бўлади. Шу сабабли мураккаб комплекс жараёнларнинг самарадорлигини ошириш учун бош жараён тезлаштирилади.

Кинетик тенгламаларни таҳлил қилиш технология жараёнларини тезлаштиришнинг умумий қонуниятини курсатиб беради: жараённинг тезлигини ошириш учун ҳаракатлантирувчи кучнинг қийматини кўпайтириш ёки қаршиликни камайтириш керак. (1.8) тенгламадан кўришиб турибдики, гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари ўртасида умумий бирлик мавжуд.

### 1.7-§. МУҚАММАЛ ҚУРИЛМАЛАР ЯРАТИШ АСОСЛАРИ

Кимёвий технологияда ишлатиладиган қурилмалар қатор талаблар (ишлатилиш шароитлари, конструктив, эстетик, иқтисодий, техника хавфсизлиги) га жавоб бериши керак.

Аввало, қурилмада маълум бир жараёни амалга ошириш учун энг қулай шарт-шароит мавжуд бўлиши зарур. Бу шароитлар жараённинг турига, жараёнда қатнашаётган массаларнинг агрегат ҳолатига уларнинг кимёвий таркиби ва физик хоссаларига боғлиқ. Қурилманинг шакли технологик жараёни амалга ошириш учун мос бўлиши керак. Жараён учун зарур бўлган шароитлар (жараённинг бориши учун керакли босим; оқимларнинг тегишли турбулентлиги ва тезлиги; фазаларнинг ўзаро контакт даражаси; тегишли механик, иссиқлик, электр ёки магнитли таъсирлар ва ҳоказо) яратилиши мақсадга мувофиқ.

Қурилманинг муҳим параметрларидан бири унинг *иш унумидир*. Иш унуми деганда вақт бирлиги ичида қурилмада қайта ишланадиган тайёр маҳсулотнинг миқдори тушунилади. *Қурилманинг самарадорлиги* деган тушунча ҳам кўп ишлатилади. Қурилманинг самарадорлиги унинг иш унумини қурилмани характерлайдиган бирорта катталиққа нисбатидир. Масалан, қуритгичнинг самарадорлиги нам материалдан бир соат мобайнида ажратиб чиқарилган сувнинг миқдорини қурилманинг  $1 \text{ м}^3$  ҳажмига нисбати билан ўлчанади. Буглатиш қурилмаларининг самарадорлиги эса 1 соатда буглатилган сув миқдорининг  $1 \text{ м}^2$  иситиш юзасига нисбати орқали белгиланади.

Қурилмаларнинг иш унумини ошириш ишлаб чиқариш учун катта аҳамиятга эга. Бунинг учун қурилмалар ишини тезлаштириш зарур. Тезлаштиришнинг бир неча усуллари мавжуд:

- 1) даврий жараёнларни узлуксиз жараёнлар билан алмаштириш;
- 2) қурилма иш механизмларининг тезлигини ошириш;
- 3) қурилмадаги гидравлик режимларни яхшилаш;
- 4) юқори температура ва катта босимларни қўллаш;
- 5) ультратовуш, механик (пульсацион ва вибрацион) тебранишлар, мавҳум қайнаш принципи, электромагнит майдон таъсирларидан фойдаланиш;

6) янги технологияларни қўллаш.

Шароитни ҳисобга олган ҳолатда қурилмалар ишини тезлаштириш усули танлаб олинади.

Қурилманинг материали коррозияга чидамли, энергия сарфи жуда кичик, уни текшириш, тозалаш ва созлаш учун қулай ҳамда мустаҳкам бўлиши керак.

Конструктив ва эстетик талаблар қурилмани лойиҳалаш, ташиш ва уни ўрнатиш билан боғлиқ. Бу талабларга қўйидагилар киради: қурилма қисмларининг стандартлиги ва бир-бирини алмаштириш имконияти; қурилмани йиғиш учун кам меҳнат талаб қилиниши; ташиш, қисмларга бўлиш ва созлаш қулайлиги; қурилма ва унинг қисмларини минимал массага эга бўлиши. Қурилмани машинасозлик корхонасида тайёрлаш технологияси оддий ва мукамал бўлиши шарт. Кам меҳнат билан қисқа давр давомида қурилмани тайёрлаш имконияти мавжуд бўлса мақсадга мувофиқ бўлади. Булардан ташқари, қурилманинг шакли ва рангги эстетик талабга жавоб бериши керак.

Қурилмани лойиҳалаш, тайёрлаш ва ишлатишнинг қиймати иложи борича кам бўлиши керак. Ишлатиш ва конструктив талабларни қондирган қурилмалар одатда иқтисодий талабга ҳам жавоб беради.

Қурилма техника хавфсизлиги талабларига жавоб бериши ва уни бошқариш қулай бўлиши керак. У авария ва мустаҳкамлик запасига эга бўлиб, сақловчи клапан ва автоматик тўхтатиш ускуналари билан таъминланган, ҳаракатдаги қисмлари эса ҳимоя қилиш тўсиқлари билан ажратилган бўлиши зарур.

Қурилмани хомашё билан тулдириш ва тайёр маҳсулотни қурилмадан чиқариш бошқарувчи ходим учун қулай бўлиши зарур. Бунинг учун қурилма мукамал конструкцияга эга бўлиши, люк ва венти́ллар жуда қулай қилиб жойлаштирилган бўлиши керак. Қурилмани маълум бир масофадан туриб текшириш ва бошқариш мақсадга мувофиқ бўлади. Қурилмани бошқариш катта жисмоний меҳнатни талаб қилмаслиги керак. Қурилма ишини текшириш ва бошқаришни автоматлаш — ишлаб чиқаришни бошқаришнинг олий мақсадидир.

Технология жараёнларини комплекс механизация ва автоматлаш ҳамда уларни жадаллаштириш инсоннинг меҳнат қилиш шароитини ўзгартириб юборади. Бу нарса қурилмаларни лойиҳалашда уни бошқарадиган инсоннинг қобилияти ва имкониятларини ҳисобга олишни (яъни эргономика шартларини) талаб қилади. *Эргономика* — меҳнат шароитини инсонга мослаш ҳақидаги фан. Эргономиканинг асосий элементлари — технология қурилмаси конструкциясига гигиеник ва эстетик талаблар қўйишдан иборат. Қурилма ва машиналарнинг сифати уларнинг юқори самарадорлигидан ташқари меҳнат учун ёрдам берадиган қулай гигиеник шароит яратиб бериши билан ҳам белгиланади.

Катта ҳажмли ишлаб чиқаришлар йирик қурилмалар лойиҳалашни талаб қилади. Бундай қурилмаларни маълум бир ҳажмга (ёки юзага) нисбатан олган иш унуми анча юқори бўлади. Йирик

қурилмалардан фойдаланиш капитал маблағ ва эксплуатация сарфларни камайтирганда уларнинг иш унумини кўпайтириш мумкин. Бундай қурилмалар ишлатилганда трубопроводлар узунлиги, арматура, текшириш-ўлчов асбобоари ва автоматлаш ускуналариининг сони, бир тонна маҳсулот учун сарфланадиган металлнинг миқдори камаяди, қурилиш майдони, қурилмани бошқарадиган ва уни созлайдиган ходимларнинг сони қисқаради.

Ҳозирда саноатда ишлатилаётган қурилмаларга нисбатан иш унумдорлиги 5—10 марта юқори бўлган қурилмалар яратилмоқда. Масалан, полиэтиленни юқори босим (500—700 МПа) да ишлаб чиқариш учун технологик жараёнлар ўрганилмоқда.

Катта ўлчамли қурилмаларни лойиҳалашда уларни ташиш ҳам ҳисобга олинади. Қурилмаларнинг унумдорлиги ошиши билан унинг ўлчами катталашиб боради, оқибатда уни темир йўл орқали ташиш қийинлашади, чунки темир йўл транспортининг ўлчамлари чегараланган. Бу транспорт билан ташиладиган қурилмалар қуйидаги талабларга жавоб бериши керак:

диаметр, мм ...	4380	3900	3840	4000	3800	3220
узунлик, мм ...	11	22	30	21	37	48
масса, т ...	400	240	240	120	120	120

#### 1.8-§. КИМЁВИЙ ҚУРИЛМАЛАР ТАЙЁРЛАШ УЧУН МАТЕРИАЛЛАР

Қурилма, машина, асбоб-ускунани тайёрлаш учун материаллар танлашда ундан фойдаланишнинг ўзига хос томонлари ва иш муҳити, температура, бораётган жараённинг таъсирида материал физик-кимёвий хоссаларининг ўзгаришини билиш зарур. Материал танлашда соҳалар бўйича ишлатилаётган стандартларга асосланилади (масалан, ОСТ 26.291—79).

Материал танлаш одатда жараённинг иш шароитлари (температура, босим, контакт бўлаётган фазаларнинг концентрациялари) ни аниқлашдан бошланади. Қурилма ёки машина учун материал танланаётганда қуйидаги факторлар ҳисобга олиниши керак: материалнинг механик хоссалари — чидамлик чегараси, нисбий узайиши, қаттиқлик ва ҳоказо; тайёрлаш технологиясининг қулайлиги (масалан, пайвандлаш мумкинлиги); емирилишга кимёвий барқарорлиги; иссиқлик ўтказувчанлик ва бошқалар.

Кимёвий қурилмалар тайёрлаш мақсадида ишлатилаётган материалларга бўлган талабларнинг энг муҳими коррозияга барқарорликдир, чунки бу катталиқ қурилмаларнинг узоқ ишлаш-лик қобилиятини белгилайди. Металларнинг коррозияга барқарорлик даражаси 1.1-жадвалда берилган (ГОСТ 13819—68). Кимёвий қурилмаларни тайёрлаш учун коррозия тезлиги  $0,1 \div 0,5$  мм/йил дан ошмайдиган конструкция материалларидан фойдаланиш керак; кўпинча коррозия тезлиги  $0,01—0,05$  мм/йил-га тенг бўлган материаллар ишлатилади.

10 балли шкала бўйича металларнинг коррозия тезлиги коррозиянинг металлнинг ичига кириб бориши ифодаланиб,

1.1- жа д в а л. **Металларнинг коррозияга барқарорлиги**

Барқарорлик группаси	Балл	Металлнинг коррозия тезлиги мм/йил
Тула барқарорлик	1	0,001 дан кам
Анча барқарорлик	2	0,001 дан 0,005 гача
	3	0,005 дан 0,01 гача
Барқарорлик	4	0,01 дан 0,005 гача
	5	0,005 дан 0,1 гача
Пасайган барқарорлик	6	0,1 дан 0,5 гача
	7	0,5 дан 1,0 гача
Кам	8	1 дан 5 гача
барқарорлик	9	5 дан 10 гача
Барқарорсиз	10	10 дан кўп

коррозия маҳсулотлари олиб ташлангандан кейин металл массасининг камайиши миқдори билан аниқланади. *Коррозия тезлиги* куйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$П = \frac{K \cdot 10^{-3}}{\rho} \quad (1.9)$$

бу ерда  $П$  — коррозия тезлиги, мм/йил;  $K$  — масса бўйича йўқолиш, г/м<sup>2</sup>·йил;  $\rho$  — металлнинг зичлиги, г/см<sup>3</sup>.

Кимёвий қурилмалар тайёрлашда ҳар хил навли пўлатлар (жумладан углеродли), чўянлар, рангли металллар, қотишмалар, нометалл ва композицион материаллар ишлатилади.

Углеродли пўлатлар (ГОСТ 380—71) учта гуруҳга бўлинади:

А — механик хоссалари бўйича етказиб бериладиган пўлатлар;

Б — кимёвий таркиби бўйича етказиб бериладиган пўлатлар;

В — механик хоссалари ва кимёвий таркиби бўйича етказиб бериладиган пўлатлар.

Қуйидаги навли пўлатлар тайёрланади: А гуруҳи — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6; Б гуруҳи — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6; В гуруҳи — ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5.

Ҳозирда кимё саноатида кам легирланган, кремний-марганеци пўлат навлари: 16 ГС (ЗН) ва 09Г2С (М) кўп ишлатилмоқда, чунки бу материаллар юқори чидамлик ва мустаҳкамликка эга. Ишлатилиш мақсадига кўра кам легирланган пўлат иккита гуруҳга бўлинади: А — металл конструкциялари учун; Б — темир-бетон конструкциялари учун. Коррозияга учрайдиган муҳит ва юқори температурада ишлайдиган қурилмалар тайёрлаш учун кўп легирланган пўлат ишлатилади.

Кимёвий машина ва қурилмаларнинг таннархи ва металл ушлаш ҳажмини ҳамда ўта танқис бўлган никел сарфини камайтириш мақсадида янги яратилаётган қурилмаларни тайёрлашда тежамли — легирланган ва никелсиз пўлатлардан (08Х22Н6Т, 08Х12Н6М2Т, 08Х18Г82Т, 07Х13АГ20, 0813) фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Коррозияга барқарор ва танқис бўлган пўлатни тежашнинг

асосий усулларидан бири — қурилмаларни тайёрлашда икки қатламли металлдан фойдаланишдир. Бунда биринчи қатлам углеродли пўлатдан, иккинчи — химоя қилувчи қатлам эса коррозияга барқарор пўлатдан ёки рангли металл ва қотишмадан таркиб топган бўлади. Кўпинча химоя қилувчи металл сифатида 08Х13, 12Х1810Т, 08Х17Н13М2Т, 06ХН28МДТ навли пўлат ишлатилади.

Юқори босимда ишлайдиган, кўп қатламли идиш ва қурилмаларни тайёрлашда металлни тежаш учун тахталанган ва ўрамли пўлатдан фойдаланилади. Бундай вазифаларни бажариш учун кўпинча 1712СФБ навли, кенглиги 1700 мм га тенг бўлган, янги ўрамли пўлат ишлатилади.

Юқори чидамликка эга бўлган, шарсимон графитли чўянлар (В4) — самарали конструкция материалларининг биридир. В4 навли чўян (ГОСТ 7293—79) юқори технологик, механик ва ишлатилиш хоссасига эга. Юқори температура (500—600°С гача) ва коррозияга учрайдиган муҳит билан ишлайдиган қурилмаларнинг деталларини тайёрлашда махсус легирланган чўянлардан (ГОСТ 7769—82) фойдаланилади.

Рангли металллар (қўрғошин, мис, алюминий, никель ва унинг қотишмалари) пайвандлаш, қалайлаш ва қуйма усуллар билан тайёрланадиган, ўртача ва юқори агрессив шароитларда ишлайдиган қурилмалар тайёрлашда ишлатилади.

Айрим жараёнларни тезлаштириш, максимал юқори температура ва кимёвий активликдан фойдаланиш, агрессив муҳитда температура ва иссиқлик алмашилишининг катта тезлик билан ўзгариши ва шу каби факторлар қурилмаларнинг айрим деталларини тайёрлашда, титан, тантал, цирконий ва ниобий каби металллардан фойдаланиш кераклигини тақозо этади.

Металлар коррозияси таъсирида машина, қурилма ва уларнинг деталларида емирилиш юз беради. Бу нарса кўпинча ишлаб чиқаришда бахтсиз ходиса содир бўлишига ҳамда кўп миқдорда металлларнинг йўқолишига олиб келади. Оқибатда халқ хўжалигига катта зарар етказилади. Шу сабабдан коррозия таъсирини йўқотиш учун металл конструкциялар юзасини тегишли химоя қатламлар билан қоплаш мақсадга мувофиқдир. Масалан, кислоталарга барқарор пўлатнинг ўрнига химоя қатламли оддий углеродли пўлатдан фойдаланиш яхши самара беради.

Коррозион муҳитда ишлайдиган бир қатор кимёвий қурилмаларни ишлаб чиқаришда нометалла материаллардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай конструкция материаллар қаторига пластмассалар (винипласт, фаолит, фторпласт ва ҳоказо), шишали пластиклар, кўмир графитли материал, керамика, фарфор, композицион материаллар ва бошқалар киради.

Бир қатор кимёвий қурилмаларда технология жараёнлари юқори ёки ўта паст температураларда олиб борилади. Ушбу жараёнларни амалга ошириш учун юқори температурали иссиқлик ташувчи ёки температураси нол градусдан кам бўлган совитувчи агентлардан фойдаланилади. Бундай шароитларда атроф-муҳитга

тарқалиб йўқоладиган иссиқлик миқдорини минимумга келтириш учун қурилмаларнинг ташки юзаси изоляция қатлами билан қопланади.

Умуман олганда кимёвий қурилмаларнинг юзалари қуйидаги усуллар ёрдамида химоя қилинади:

1) қурилма сирти эмаль, резина, полимер материаллари ва ўтга чидамли материал билан қопланади ёки сурилади; 2) бўяш; 3) изоляция қилиш. Ишлаш шароити, мақсади ва қурилма турган ўрнига қараб бу усуллардан фойдаланилади.

### 1.9-§. ФИЗИК КАТТАЛИҚЛАРНИНГ ЎЛЧОВ СИСТЕМАЛАРИ

Ҳар қандай жараён ва қурилмаларни ҳисоблашда моддаларнинг физик хусусиятларини (зичлик, солиштирма оғирлик, қовушоқлик ва бошқалар) ва модда ҳолатининг ҳаракатини характерловчи параметрларни (тезлик, босим, температура ва бошқалар) билиш керак.

1980 йилга қадар физик катталиқлар миқдорини ифодалаш учун асосан СГС, МКГСС ва бошқа ўлчов бирликлар системаларидан фойдаланилар эди. Технология жараёнларини ўрганишда турли ўлчов бирликларидан фойдаланиш ҳисоблаш ишларини қийинлаштиради ва қўпол хатоликларга олиб келади, чунки бунда катталиқларни бир системадан бошқасига ўтказиш эҳтиёжи туғилади, натижада ҳисобларда ҳам жиддий хатоларга йўл қўйилиши мумкин.

Республикамизда ва бир қанча чет давлатларда ўлчов бирлигининг ягона системаси сифатида 1980 йилнинг январидан бошлаб универсал Халқаро бирликлар системаси (СИ) қабул қилинди. СИ нинг жорий этилиши билан шу системада назарда тутилган ва унинг таркибига кирмайдиган бирликларнинг илмий тадқиқотлар натижаларини ҳисоблашда, ишлаб чиқариш қурилмаларини лойиҳалашда, шунингдек, ўқув-таълим ишида қийинчилик туғидираётган ўлчов бирликларидаги хилма-хилликка барҳам берилди.

СИ нинг аввалги системаларга нисбатан муҳим афзаллиги шундаки, у универсал, ўлчов бирликлари бирхиллаштирилган; асосий, қўшимча ва қўпчилик ҳосилавий бирликларни амалиёт учун қулай ўлчамларга мужассамлаштирилган системадир. СИ да еттита асосий катталиқ ва шуларга мос еттита асосий (ўлчамлари махсус таърифлар билан белгиланган) бирлик, шунингдек, иккита қўшимча, анчагина ҳосилавий катталиқлар ва уларга мос қўшимча ҳамда ҳосилавий бирликлар бор. Халқаро бирликлар системасининг асосий катталиқ ва бирликлари қуйидагилар: узунлик бирлиги — метр (м), масса бирлиги — килограмм (кг), вақт бирлиги — секунд (с), электр ток кучи бирлиги — ампер (А), термодинамик температура бирлиги — кельвин (К), ёруғлик бирлиги — кандела (кд), модда миқдори бирлиги — моль (моль) (1.2-жадвалга қarang).

Ўлчов ва тарозилар XIV Бош конференцияси қарори билан босим ва механик кучланиш бирлиги учун мустақил ўлчов —

1.2- жа д в а л. Халқаро бирликлар системасининг асосий, қўшимча ва баъзи муҳим ҳосилавий бирликлари

Катталиқ номи	Бирликлар номи	Бирликлар белгиси (Ўзбекча)
1	2	3
	<i>Асосий катталиқлар</i>	
Узунлик	метр	м
Масса	килограмм	кг
Вақт	секунд	с
Электр ток кучи	ампер	А
Термодинамик температура	кельвин	К
Модда миқдори	моль	моль
Ёруғлик кучи	кандела	кд
	<i>Қўшимча катталиқлар</i>	
Ясси бурчак	радиан	
Фазовий бурчак	стерадиан	ср
	<i>Ҳосилавий бирликлар</i>	
Юза	метр квадрат	м <sup>2</sup>
Ҳажм, сигим	метр куб	м <sup>3</sup>
Тезлик	метр тақсим секунд	м/с
Тезланиш	метр тақсим секунд квадрат	м/с <sup>2</sup>
Бурчак тезлик	радиан тақсим секунд	рад/с
Бурчак тезланиш	радиан тақсим секунд квадрат	рад/с <sup>2</sup>
Зичлик	килограмм тақсим метр куб	кг/м <sup>3</sup>
Куч	ньютон	Н
Босим, механик кучланиш	паскаль	Па
Кинематик ковушоқлик	метр квадрат тақсим секунд	м <sup>2</sup> /с
Динамик ковушоқлик	паскаль — секунд	Па·с
Иш, энергия, иссиқлик миқдори	жоуль	Ж
Қувват	ватт	Вт
Энтропия	жоуль тақсим кельвин	Ж/К
Солиштирма иссиқлик сигим (иссиқлик сигим)	жоуль тақсим килограмм — кельвин	Ж/(кг·К)
Иссиқлик бериш (иссиқлик узатиш) коэффиценти	ватт тақсим метр квадрат-кельвин	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Иссиқлик утказувчанлик	ватта тақсим метр-кельвин	Вт/(м·К)
Сирт таранглик	жоуль тақсим метр квадрат	Ж/м <sup>2</sup>
Диффузия коэффиценти	метр квадрат тақсим секунд	м <sup>2</sup> /с
Энтальпия	жоуль тақсим килограмм	Ж/кг

паскаль (Па) қабул қилинган. Паскаль — кучга перпендикуляр 1 м<sup>2</sup> юзага текис тақсимланган 1 Н кучдан ҳосил қилинган босимга тенг.

Булардан ташқари, халқаро бирликлар системасининг қаррали ва улушли қийматларидан ҳам кенг фойдаланилади. Бунда тегишли бирликнинг сон қийматини 10 сонига кўпайтириб ёки бўлиб мос ҳолда қаррали ёки улушли бирлик ҳосил қилинади. Қаррали ва улушли бирлик номи дастлабки бирликлар номларига олд қўшимчалар қўшиш йўли билан олинади. Бирликларнинг дастлабки номига икки ва ундан ортик олд қўшимча қўшиш мумкин эмас. Масалан, микромикрофарад, яъни «фараднинг



1	2	3
Зичлик	кг/м <sup>3</sup>	1 кгк·с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup> = 9,81 кг/м <sup>3</sup> 1 т/м <sup>3</sup> = 1 кг/дм <sup>3</sup> = 1 г/см <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup> 1 кгк/м <sup>3</sup> = 1,163 Н/м <sup>3</sup>
Солиштира оғирлик Иш, энергия, иссиқлик микдори	Н/м <sup>3</sup>  Ж	1 кгк·м = 9,81 Ж 1 эрг = 10 <sup>-7</sup> Ж 1 кВт·соат = 3,6·10 <sup>6</sup> Ж 1 ккал = 4187 Ж = 4,19 кЖ
Солиштира иссиқлик сиғими	Ж/(кг·К) Ж/(кг·С)	1 ккал/(кг·°С) = 4,19 кж/(кг·К) 1 эрг/г·К = 10 <sup>-4</sup> ж/(кг·К)
Иссиқлик бериш ва ўтказиш коэффициентлари	Вт/(м <sup>2</sup> ·К) Вт/(м <sup>2</sup> ·С)	1 ккал/(м <sup>2</sup> ·соат·°С) = 1,163 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	Вт/(м·К) Вт/(м·С)	1 ккал/(м·соат·°С) = 1,163 Вт/(м·К)
Айланиш частотаси	Гц	1 с <sup>-1</sup> = 1 Гц 1 айл/с = 1 Гц 1 айл/мин = $\frac{1}{60}$ Гц
Солиштира энтальпия	Ж/кг	1 ккал/кг = 1 кал/г = 4,19 кЖ/кг

#### 1.10-§. ГАЗ, СУЮҚЛИК ВА ҚАТТИҚ МОДДАЛАРНИНГ ФИЗИК-ТЕХНИКАВИЙ ХОССАЛАРИ

Асосий жараёнлар ва қурилмаларни ҳисоблашда ўзаро таъсир қилаётган муҳитлар физик-техникавий катталикларининг қийматлари (зичлик, солиштира оғирлик, қовушоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, солиштира иссиқлик сиғими, температура ўтказувчанлиги коэффициенти ва бошқалар) ни билиш зарур.

**Зичлик.** Ҳажм бирлигидаги битта компонентдан ташкил топган бир жинсли модданинг массаси *зичлик* деб аталади ва  $\rho$  билан белгиланади:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.10)$$

бу ерда  $m$  — масса, кг;  $V$  — ҳажм, м<sup>3</sup>. Халқаро бирликлар системасида зичлик кг/м<sup>3</sup> да ўлчанади.

Бирорта модданинг зичлиги ( $\rho$ )ни сувнинг зичлиги ( $\rho_c$ )га нисбати *нисбий зичлик* дейилади:

$$\Delta = \frac{\rho}{\rho_c} \quad (1.11)$$

0 дан 100°С гача бўлган ораликда техник ҳисоблашлар учун сувнинг зичлиги  $\rho_c = 1000$  кг/м<sup>3</sup> деб олинади.

Кимёвий жиҳатдан бир жинсли бўлган моддаларнинг зичлиги махсус адабиётларда диаграмма ва жадвал шаклида берилади. Тоza моддалар суюқ эритмаларининг зичлиги концентрация ва температурага боғлиқ. Одатда эритмаларнинг зичлиги жадвал холида берилади ёки эмпирик тенгламалар ёрдамида топилади.

Иккита компонент (а ва б) дан таркиб топган тури жинсли системанинг зичлиги қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\rho = \left( \frac{m_a}{\rho_a} + \frac{m_b}{\rho_b} \right) \quad (1.12)$$

бу ерда  $m_a$  а компонентнинг аралашмадаги массавий улуши, кг/кг;  $m_b = 1 - m_a$  — б компонентнинг аралашмадаги массавий улуши, кг/кг;  $\rho_a$  ва  $\rho_b$  а ва б компонентларнинг зичликлари, кг/м<sup>3</sup>.

Газ ва бугнинг зичлиги суюқлик ва қаттиқ моддалар зичлигига нисбатан тахминан минг марта кам бўлади.

**Солиштирама оғирлик.** Ҳажм бирлигидаги модданинг оғирлиги *солиштирама оғирлик* деб аталади ва  $\gamma$  билан белгиланади:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1.13)$$

бу ерда  $G$  — суюқлик оғирлиги, Н. СИ га биноан солиштирама оғирлик Н/м<sup>3</sup> да ўлчанади. Масса билан оғирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

$$m = \frac{G}{g} \quad (1.14)$$

бу ерда  $g$  — эркин тушиш тезланиши, м/с<sup>2</sup>.

Массанинг миқдорини (1.10) тенгликка қўйсақ, зичлик билан солиштирама оғирликнинг ўзаро боғланиш нисбати келиб чиқади:

$$\gamma = \rho g \quad (1.15)$$

Зичликка тесқари бўлган катталиқ *солиштирама ҳажм* деб аталади ва  $v$  (м<sup>3</sup>/кг) билан ифодаланади:

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \quad (1.16)$$

**Қовушоқлик.** Ҳақиқий (реал) суюқликлар труба ичида ҳаракатланганда, унинг ичида ишқаланиш кучи ҳосил бўлиб, суюқлик силжишига тўсқинлик қилади. Суюқликнинг ўзаро параллел ҳаракат қилаётган қатламлари оралигидаги ишқаланиш кучи ( $T$ ) *Ньютон қонуни* билан ифодаланади:

$$T = \mu F \frac{d\omega}{dn} \quad (1.17)$$

бу ерда  $F$  — ишқаланиш юзаси;  $\frac{d\omega}{dn}$  — тезлик градиенти;  $\mu$  — қовушоқликнинг динамик коэффиценти.

*Қовушоқликнинг динамик коэффиценти* СИ га биноан қуйидаги бирликда ўлчанади:

$$\mu = \frac{T}{F \left( \frac{d\omega}{dn} \right)} = \frac{Н}{м^2 \left( \frac{м/с}{м} \right)} = \frac{Н \cdot с}{м^2} = \text{Па} \cdot с.$$

Динамик қовушоқлик коэффициентининг шу суюқлик зичлиги-га нисбати кинематик қовушоқлик дейилади ва  $\nu$  билан белгиланади:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.18)$$

СИ да кинематик қовушоқлик  $\text{м}^2/\text{с}$  бирлигида ўлчанади.

Температура ортиши билан суюқликнинг қовушоқлиги камаяди, газларда эса ортади. Суюқликнинг қовушоқлиги газнинг қовушоқлигига нисбатан бир неча марта каттадир. Масалан,  $20^\circ\text{C}$  да сувнинг қовушоқлиги тахминан  $0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , глицеринники  $1,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ , ҳавоники эса  $0,00002 \text{ Па}\cdot\text{с}$  га тенг.

Ньютоннинг ички ишқаланиш қонунига бўйсунадиган суюқликлар *ньютон суюқликлари* дейилади. Коллоид эритмалар, мойли бўёқлар, смолалар, паст температурада ишлатиладиган сурков мойлари ньютон суюқликларига кирмайди.

**Иссиқлик ўтказувчанлик.** Температура градиенти таъсирида бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг тартибсиз ҳаракати натижасида иссиқликнинг тарқалиши *иссиқлик ўтказувчанлик* деб аталади. Бир жинсли текис девор орқали ўтган иссиқлик оқими  $Q$  қуйидаги тенглама орқали аниқланиши мумкин:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F \Delta t \quad (1.19)$$

бу ерда  $\lambda$  — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти;  $\delta$  — девор қалинлиги;  $F$  — иссиқлик ўтаётган юза;  $\Delta t$  — деворнинг иккала томонидаги температуралар фарқи.

Охириги тенглама орқали  $\lambda$  нинг СИ даги ўлчов бирлигини топамиз:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F\Delta t} = \frac{\text{ж/с}\cdot\text{м}}{\text{м}^2\cdot\text{К}} = \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати температура, босим ва модданинг турига боғлиқ. Турли жисмлар учун  $\lambda$  нинг қиймати справочникларда берилган бўлади. Газ, суюқлик ва қаттиқ моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари ( $\lambda$ ,  $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$ ) қуйидаги чегарада ўзгаради:

Металлар ва уларнинг қотишмалари	15—380
Қаттиқ нометалл материаллар	0,02—3,0
Томчили суюқликлар	0,07—0,7
Газлар	0,006—0,06

**Солиштира иссиқлик сиғими.** Бу параметр модданинг ўзида иссиқлик энергиясини тутиш қобилиятини кўрсатади. *Солиштира иссиқлик сиғими* деганда модданинг масса бирлиги температурасини бир градусга кўтариш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори тушунилади. Солиштира иссиқлик сиғими қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} \quad (1.20)$$

бу ерда  $Q$  — жисми иситиш учун сарф булган иссиқлик микдори;  $m$  — жисм массаси;  $\Delta t$  — жараённинг охириги ва бошланғич температуралари оралигидаги фарқ. СИ да солиштирма иссиқлик сигими  $\text{Ж/кг} \cdot \text{К}$  бирлигида ўлчанади.

Газ, буг, суюқлик ва қаттиқ жисмларнинг солиштирма иссиқлик сигими одатда тажриба натижалари орқали топилади. Газларнинг солиштирма иссиқлик сигими тахминан  $1 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$ , сувники  $4 \cdot 10^3$ , металларники эса  $(0,2 \div 1) \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$  га тенг бўлади.

**Температура ўтказувчанлик коэффициенти.** Агар иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини жисмнинг иссиқлик энергиясини ўтказиш қобилиятини белгиласа, температура ўтказувчанлик коэффициентини эса жисмнинг иссиқлик инерцион хоссаларини ифодалайди. Бу коэффициент жисмнинг физик катталиги ҳисобланиб, температуранинг ўзгариш тезлигини билдиради.

Температура ўтказувчанлик коэффициентини ( $\alpha$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ) қуйидаги нисбат орқали аниқланилади:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (1.21)$$

бу ерда  $\lambda$  — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини;  $c$  — солиштирма иссиқлик сигими;  $\rho$  — зичлик.

Температура ўтказувчанлик коэффициентини модданинг комплекс хоссаларини белгилайдиган муҳим катталик бўлиб, (1.21) тенглама ёрдамида аниқланади ёки тажриба орқали топилади. Бу коэффициентнинг сон қиймати температура, зичлик, модданинг таркиби ва бошқа факторларга боғлиқ бўлади.

#### ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 1.1. Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари неча гуруҳга бўлинади? Бу жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучлари нималардан иборат?
- 1.2. Модда ва энергиянинг сақланиш қонунларини маълум бир жараён мисолида тушунтириб беринг.
- 1.3. Ле-Шателье принципи ва Гиббснинг фазалар қоидаси уртасида қандай боғлиқлик бор?
- 1.4. Кимёвий технология асосий жараёнларининг тезлигини умумий кинетик тенглама билан ифодалаш мумкинми?
- 1.5. Кимёвий технологияда ишлатиладиган асосий қурилмалар қандай талабларга жавоб бериши керак? Эргономика шартлари нималардан иборат?
- 1.6. Моддаларнинг асосий физик-техникавий хоссалари — зичлик ва солиштирма оғирлик, динамик ва кинематик қовушоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик ва температура ўтказувчанлик уртасида қандай фарқ бор?
- 1.7. Физик катталиклар микдорларини ифодалаш учун қандай ўлчов системаларидан фойдаланилади? Халқаро бирликлар системасининг афзалликлари нимада?

## 2-боб. ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ АСОСЛАРИ

### 2.1-§. УХШАШЛИК НАЗАРИЯСИНING АҲАМИЯТИ

Янги технология жараёнини ташкил этиш учун аввал лаборатория ва синов қурилмаларида тажриба олиб борилади. Бу қурилмаларда текширилаётган жараённинг техникавий жиҳатдан мукамал ва иқтисодий жиҳатдан тежамли эканлиги аниқланади. Текширишлар натижасида барча жараёнларнинг бир хиллик шартларига мувофиқ қурилманинг шакли ва улчамлари, жараёни олиб бориш шароитлари, жараёнда қатнашаётган моддаларнинг энг муҳим ўзгармас катталиклари, маҳсулот чиқиши, хомашё ва энергиянинг солиштирма сарфи ва бошқа масалалар ҳал қилинади.

Лаборатория ва синов қурилмаларида олинган натижани солиштириш учун улар урганилаётган саноат қурилмаларида синаб кўрилади. Янги қурилмаларни лойиҳалаш ва ишлатиш учун лаборатория ҳамда тажриба шароитларида олинган ҳисоблаш тенгламалари ва бир хиллик шартларининг қонуниятлари катта аҳамиятга эга. Бу курсда урганилаётган барча жараёнлар учун керакли ҳисоблаш тенгламаларини келтириб чиқариш ва уларни математик йўл билан ифодалаш қийин. Баъзи технология жараёнлари физика ва кимё қонуллари асосида дифференциал тенгламалар орқали ифодаланади. Дифференциал тенгламалар ухшашлик назариясидан фойдаланиб ечилса, аналитик тенгламалар келиб чиқади. Бу аналитик тенгламалар технология жараёни учун зарур бўлган факторларни ўзаро боғлайди ва инженерлик ҳисоблаш ишларида кўп ишлатилади.

Баъзан дифференциал тенгламаларни математик йўл билан ечиб бўлмайди. Бунда тажрибалар ўтказиб, жараёни характерловчи ўзгарувчан факторлар ўртасидаги боғлиқлик аниқланади. Тажриба натижалари асосида эмпирик тенгламалар келтириб чиқарилади. Бундай тенгламалар хусусий характерда бўлиб, улардан фақат аниқ шароитлардагина фойдаланиш мумкин. Бироқ исталган мураккаб жараёни тадқиқ қилишда умумий бўлган қонуният ва тенгламаларни топиш керак. Чунки бу тенглама ва қонуниятлар ёрдамида бирор хусусий тажриба натижаларини бошқа кўпчилик жараёнларни текширишга қўллаш керак бўлади. Бунга тажриба натижаларининг ухшашлик назарияси ёрдамида, уларни қайта ишлаш орқали эришиш мумкин.

Ухшаш жараёнларда бу жараёнларни ифодаловчи ва ухшаш бўлган катталиқлар нисбати ўзгармас бўлади. Ухшашлик назариясининг назарий ва амалий аҳамияти катта. Ухшашлик назарияси тажриба ўтказиш ва тажриба натижаларини қайси йўл билан қайта ишлаш кераклигини ўргатади.

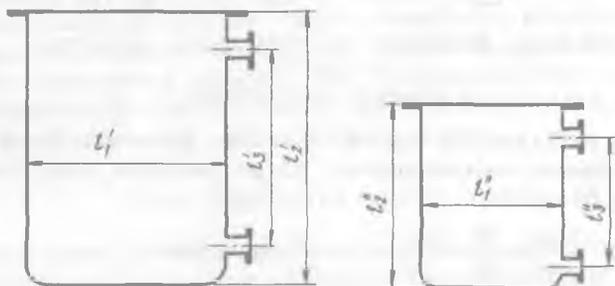
## 2.2-§. ЎХШАШЛИҚ ТЕОРЕМАЛАРИ

Ўхшашлик шартларига кўра ўхшаш ҳодисалар 4 гуруҳга бўлинади: геометрик ўхшашлик, вақт бўйича ўхшашлик, физик катталикларнинг ўхшашлиги, бошланғич ва чегара шартларининг ўхшашлиги.

Агар системадаги жисмлар тинч ҳолатда турган бўлса, геометрик бир хилликка асосан икки ўхшаш жисмнинг геометрик ўлчов катталиклари ўзаро параллел бўлиб (2.1- расм), уларнинг нисбати ўзгармас бўлади:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l_3}{l_4} = \frac{l_5}{l_6} = K_1 = \text{const} \quad (2.1)$$

бунда  $K$  — геометрик ўлчов катталиклари доимийлиги;  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$  — биринчи ва иккинчи идишларнинг геометрик ўлчамлари.



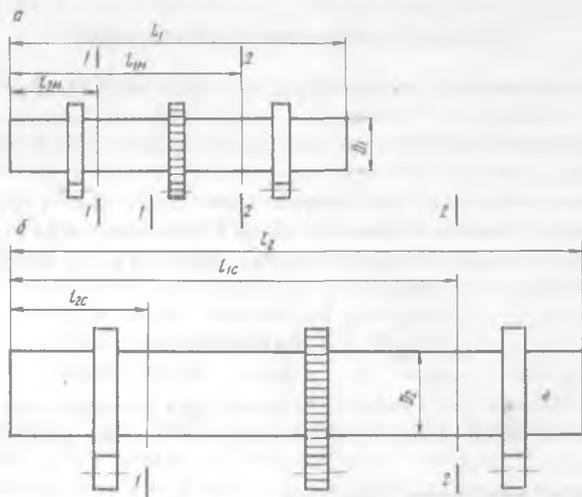
2.1- расм. Геометрик ўхшаш идишлар.

2.2- расмда сапоатда ишлатиладиган барабанли қуритгич (б) ва унинг модели (а) кўрсатилган. Агар барабанли қуритгич ва унинг модели геометрик ўхшаш бўлса, у ҳолда  $l_2 = K_1 l_1$  ва  $D_2 = K_c D_1$  чунки бу қурилмалар учун геометрик ўлчов катталиклари доимийлиги  $K_c = \text{const}$ . Бунда қурилмаларнинг материал юкланадиган томонидан то 1—1 ва 2—2 кесимларидаги нуқталар ўхшашлиги қуйидаги тенглик билан ифодаланади:  $l_{2M} = K_1 l_{1C}$  ва

Геометрик ўхшашлик бўлганда вақт бўйича бирхиллик ҳосил бўлади. Бу бир хилликка асосан иккита геометрик жисмдаги нуқталар ўхшаш траектория бўйлаб вақт бирлигида бир хил йўл босиб ўтади. Уларнинг ўзаро бир-бирига нисбати ўзгармас қийматга тенг:

$$\frac{T_1}{\tau_1} = \frac{T_2}{\tau_2} = \frac{T_3}{\tau_3} = \dots = \frac{T_n}{\tau_n} = \alpha_1 = \text{const}, \quad (2.2)$$

бу ерда  $T_1, T_2, T_3, T_n, \tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_n$  — ҳаракатдаги биринчи ва иккинчи жисм вақт интервалининг ўзгариши;  $\alpha_1$  — вақт бирликлари доимийлиги.



2.2- расм. Барабанли қуритгичларнинг геометрик ўхшашлиги:

*a* — модель; *b* — саноат қурилмаси.

Физик катталиклар бирлигига асосан, фазода жойлашган икки система физик хоссаларининг ўзаро нисбати вақт бирлигида ўзгармас бўлади:

$$\frac{\mu'_1}{\mu_1} = \frac{\mu'_2}{\mu_2} = \frac{\mu'_3}{\mu_3} = \dots = \frac{\mu'_n}{\mu_n} = \alpha_{\mu} = \text{const}, \quad (2.3)$$

бу ерда  $\mu'_1, \mu'_2, \mu'_3, \mu'_n, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_n$  — биринчи ва иккинчи система хоссаларининг вақт бирлигида ўзгариши;  $\alpha_{\mu}$  — физик катталиқ доимийлиги.

Ўхшаш фазода жойлашган жисмларнинг физик ва вақт бўйича бирхилликка эга бўлиши учун уларнинг бошланғич ва чегара шартлари бир хил бўлиши керак.

Лойихачиларга ўхшашлик назарияси тажриба қурилмаларида (моделларда) номаълум катталикларни текшириб кўришга ва олинган натижаларни саноат қурилмаларига (оригиналга) кўчиришга ёрдам беради. Ўхшашлик назарияси ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб 1686 йили И. Ньютон таклиф этган. Кейинчалик бу назарияни В. Л. Кирпичев, В. Нуссельт, М. В. Кирпичев, А. А. Гухман ва бошқа олимлар ривожлантирган.

Ўхшашлик назарияси учта теоремага асосланади. Биринчи теорема И. Ньютон кашф қилган. Бу теоремага мувофиқ ўхшаш ҳодисалар бир хил қийматга эга бўлган ўхшашлик мезонлари билан характерланади. Масалан, иккита ўхшаш системадаги (оригинал ва моделдаги) заррачаларнинг механик ҳаракати Ньютон ўхшашлик мезони орқали қуйидагича ифодаланади:

$$Ne = \frac{f\tau}{m\omega}, \quad (2.4)$$

бу ерда  $f$  — куч,  $m$  — заррачанинг массаси,  $\tau$  — вақт,  $\omega$  — заррача тезлиги.

Иккинчи теорема Бэкингем, Федерман ва Афанасьева — Эренфест томонидан исботланган. Бу теоремага асосан, бирор жараёнга таъсир этувчи ўзгарувчан параметрларнинг боғловчи дифференциал тенгламаларининг ечимини ўхшашлик мезонларининг ўзаро боғлиқликлари орқали ифодалаш мумкин.

Агар ўхшашлик мезонлари  $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$  билан белгиланса, у ҳолда дифференциал тенгламанинг ечими умумий тарзда қуйидагича бўлади:

$$\varphi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n) = 0 \quad (2.5)$$

ёки

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n) \quad (2.6)$$

Бундай ифодалар *критериал тенгламалар* деб юритилади.

Учинчи теорема М. В. Кирпичев ва А. А. Гухман томонидан аниқланган. Бу теорема тажриба асосида олинган ҳисоблаш усулларидан амалда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Бу теоремага асосан, сон жиҳатдан тенг аниқловчи мезонларга эга бўлган ҳодисалар ўхшаш ҳисобланади. Масалан, (2.6) тенгламадаги  $\pi_1$  — аниқловчи мезондир.

### 2.3-§. ЎХШАШЛИК МЕЗОНЛАРИ

Жараёнларни ҳисоблашда бир қатор ўхшашлик мезонларидан фойдаланилади. Ўхшашлик мезонлари ўлчамсиз бўлиб, текшири-лаётган жараённи характерлайдиган физик катталиклардан тузилади. Бу мезонлар олимлар номлари билан юритилади. Ўхшашлик мезонлари асосан учта гуруҳга бўлинади:

1) гидромеханик; 2) иссиқлик; 3) диффузион ўхшашлик мезонлари.

Биринчи гуруҳга Рейнольдс, Эйлер, Фруд, Галилей, Гомохрон, Архимед ва бошқа мезонлар киради. *Рейнольдс мезони:*

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} \quad (2.7)$$

бу ерда  $\omega$  — суюқлик ёки газ оқимининг тезлиги, м/с;  $d$  — оқимнинг характерли ўлчами, м;  $\rho$  — суюқлик ёки газнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — муҳитнинг динамик қовушоқлиги, Па·с.

Рейнольдс мезони ўхшаш оқимлардаги инерция кучларининг ишқаланиш кучларига нисбатини ва ҳаракатнинг режимини характерлайди.

*Эйлер мезони:*

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \omega^2 l} \quad (2.8)$$

бу ерда  $\Delta P$  — суюқлик оқимидаги босимнинг йўқолиши, Па.

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги суюқликнинг гидростатик

босими ва инерция кучлари орасидаги ўзаро боғланишни ва грубаларда суюқлик ҳаракат қилганда ўлчамсиз босимнинг йуқолишини ифодалайди.

*Фруд мезони:*

$$Fr = \frac{v^2}{gl} \quad (2.9)$$

бу ерда  $g$  — эркин тушиш тезланиши,  $m/s^2$ .

Фруд мезони оғирлик кучи таъсирини характерлайди ва ўхшаш оқимлардаги инерция кучининг оғирлик кучига нисбатини ифодалайди.

*Галилей мезони:*

$$Ga = \frac{g l^3}{\nu^2} \quad (2.10)$$

бу ерда  $\nu$  — муҳитнинг кинематик қовушоқлиги,  $m^2/s$ .

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги ишқаланиш кучларнинг оғирлик кучларига нисбатини белгилайди.

*Гомохрон мезони:*

$$No = \frac{v \tau}{l} \quad (2.11)$$

бу ерда  $\tau$  — вақт,  $s$ .

Гомохрон мезони ўхшаш оқимлардаги ҳаракатнинг тургунмаслигини аниқлайди.

*Архимед мезони:*

$$Ar = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \quad (2.12)$$

бу ерда  $\rho_1$  ва  $\rho_2$  оқимнинг икки нуқтасидаги суюқликнинг зичлиги,  $kg/m^3$ .

Архимед мезони эркин конвекцияни ифодалаб, муҳитнинг айрим нуқталаридаги зичликлар фарқи ва ишқаланиш таъсирида ҳосил бўлган кучларнинг ўзаро таъсирини белгилайди.

Иккинчи гуруҳга Нуссельт, Фурье, Пекле, Прандтл, Био, Грасгоф, Кутателадзе ва бошқа мезонлар киради.

*Нуссельт мезони:*

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (2.13)$$

бу ерда  $\alpha$  — иссиқлик бериш коэффициентини,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ ;  $\lambda$  — муҳитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини,  $Вт/(m \cdot K)$ .

Нуссельт мезони ўхшаш оқимларнинг чегара қатламидаги иссиқлик бериш тезлиги ва температура майдони уртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

*Фурье мезони:*

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{l^2} \quad (2.14)$$

бу ерда  $\alpha$  — температура ўтказувчанлик коэффициентини,  $m^2/s$ .

Фурье мезони иссиқлик оқимларидаги тургунмас жараёнларнинг ўхшашлигини белгилаб, жисмнинг температура майдони, физик хоссалари ва ўлчамлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

*Пекле мезони:*

$$Pe = \frac{\omega l}{\alpha} \quad (2.15)$$

Пекле мезони жараённинг гидродинамик шароитини ва муҳитнинг иссиқлик хоссаларини белгилайди. Бу мезон конвектив иссиқлик бериш пайтида конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида ўтказилган миқдорлар ўртасидаги нисбатини характерлайди.

*Прандтл мезони:*

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c\mu}{\lambda} \quad (2.16)$$

бу ерда  $\nu$  — суюқлик ёки газнинг иссиқлик сизими, Ж/(кг·К).

Прандтл мезони конвектив иссиқлик бериш жараёнидаги муҳитнинг физик хоссалари ўхшашлигини характерлайди.

*Био мезони:*

$$Bi = \frac{\alpha l_k}{\lambda_k} \quad (2.17)$$

бу ерда  $l_k$  — қаттиқ жисмнинг характерли ўлчами, м;  $\lambda_k$  — қаттиқ жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, Вт/(м·К)

Био мезони ички ва ташқи термик қаршилиқларнинг нисбатини, қаттиқ жисм ичидаги температура майдони ва унинг юзасидаги иссиқлик бериш шартлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди. Ҳисоблашда  $Bi < 0,1$  бўлганда асосан ташқи термик қаршилиқлар,  $Bi > 100$  бўлганда эса ички термик қаршилиқлар ҳисобга олинади.

*Грасгоф мезони:*

$$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \beta \Delta t \quad (2.18)$$

бу ерда  $\beta$  суюқликнинг хажм бўйича кенгайиш коэффиценти, 1/К;  $\Delta t$  — қаттиқ жисм ва ундан маълум масофадаги оқим температуралари орасидаги фарқ, К.

Грасгоф мезони эркин иссиқлик конвекциясини характерлаб, ишқаланиш кучлари ва ноизотермик оқимнинг айрим нуқталаридаги турли зичликлар таъсирида ҳосил бўлган кўтарувчи куч ўртасидаги нисбатни белгилайди.

*Кутателадзе мезони:*

$$Ku = \frac{r}{c \Delta t} \quad (2.19)$$

бу ерда  $r$  — фаза ўзгариш иссиқлиги (масалан, бугнинг конденсланиши вақтида ажралган иссиқлик миқдори), Ж/кг;  $c$  —

суюкликнинг (масалан, конденсатнинг) иссиқлик сизими,  $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t$  — конденсат юққа қатлами ва девор устидаги температуралар фарқи,  $\text{К}$ .

Кутателадзе мезони фазанинг ўзгариш иссиқлигини бирорта фазанинг тўйиниш температурасига нисбатан ўта қизитиш ёки ўта совитиш иссиқлигига нисбатини ифодалайди.

Учинчи гуруҳга, яъни диффузион ўхшашлик мезонлари қаторига Нуссельт, Прандтл, Фурье, Био, Пекле мезонлари қиради:

$$\text{Nu}' = \frac{\beta l}{D}, \quad (2.20)$$

$$\text{Pr}' = \frac{\nu}{D}, \quad (2.21)$$

$$\text{Fo}' = \frac{\tau D}{l^2}, \quad (2.22)$$

$$\text{Bi}' = \frac{\beta l_{\kappa}}{D_{\kappa}}, \quad (2.23)$$

$$\text{Pe}' = \frac{wl}{D}, \quad (2.24)$$

бу ерда  $\beta$  — модда бериш коэффициентини,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $D$  — диффузия коэффициентини,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $D_{\kappa}$  — қаттиқ жисмдаги диффузия коэффициентини,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Нуссельт мезони ўхшаш системалардаги фазалар чегарасида модда бериш жараёнининг тезлигини ифодалайди. Чет эл адабиётларида кўпинча Нуссельт мезони ўрнига Шервуд мезони ишлатилади. Прандтл мезони оқимнинг фақат физик катталикларида таркиб топган. Бу мезон ўхшаш системаларнинг ўхшаш нуқталарида суюкликнинг (ёки газнинг) физик хусусиятлари нисбатининг ўзгармаслигини характерлайди. Фурье мезони концентрация майдони ўзгариши тезлиги, жисмнинг физик хоссалари ва ўлчамлари ораллигидаги боғлиқликни ифодалайди. Бу мезондан тургунмас жараёнларни ҳисоблашда фойдаланилади. Био мезони ички ва ташқи диффузион қаршилиқларнинг нисбатини белгилайди. Пекле мезони ўхшаш системаларда конвектив ва молекуляр диффузиялар ёрдамида ўтказилган моддалар миқдорининг нисбатини белгилайди.

Жараёнларни ўрганишда геометрик ўхшашлик мезонларидан ҳам фойдаланилади. Бундай мезонлар (ёки симплекслар) қурилмалар энг муҳим ўлчамларининг нисбатлари қўринишида бўлади. Геометрик ўхшашлик мезонига мисол:

$$\Gamma = \frac{l}{d}. \quad (2.25)$$

бу ерда  $l$  — қурилма иш қисмининг баландлиги,  $\text{м}$ ;  $d$  — унинг ички диаметри,  $\text{м}$ .

Ҳар бир берилган жараён учун ўхшашлик мезонлари асосида критериал тенгламалар олинади. Ўхшашлик мезонлари ва критериал тенгламалар механик, гидромеханик, иссиқлик ва модда алмашиниш жараёнлари ва қурилмаларини моделлаштириш ва уларни ҳисоблашда ишлатилади.

#### 2.4. §. ЎЛЧАМЛАРНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ

Мураккаб жараёнларни ўрганишда ўхшашлик назариясидан фойдаланилади. Бу назария асосида ушбу жараёнларни ифода-лайдиган критериал тенгламалар олинади. Ўхшашлик назариясидан ўрганилаётган жараённи ифодалайдиган дифференциал тенглама олиш имконияти бўлгандагина фойдаланиш мумкин. Аммо айрим шароитларда ўта мураккаб жараёнларни ўрганиш оқибатида дифференциал тенгламалар тузиш имконияти бўлмайди. Бунда жараённи ўрганиб, тегишли критериал тенгламалар олиш учун ўлчамларни таҳлил қилиш усулидан фойдаланилади. Ўлчамларни таҳлил қилиш усулидан фойдаланиш қуйидаги шартнинг бажарилишини тақозо этади. Жараённи тажриба йўли билан дастлабки ўрганиш пайтида унинг тезлиги ёки ҳаракатлантирувчи кучига таъсир этувчи муҳитнинг асосий физик катталиклари ва қурилманинг муҳим параметрлари аниқланган бўлиши зарур.

Масалан, труба орқали суюқликнинг ҳаракати тадқиқ қилинганда трубанинг ичидаги босим фарқи  $\Delta P$  га унинг диаметри  $d$  ва узунлиги  $l$ , суюқликнинг зичлиги  $\rho$ , қовушоқлиги  $\mu$  ва тезлиги  $w$  таъсир этиши маълум бўлган, яъни:

$$\Delta P = f(w, \rho, \mu, l, d). \quad (2.26)$$

Ушбу тенгламани қуйидагича ёзиш ҳам мумкин:

$$\Delta P = c w^x \rho^y \mu^z l^r d^n, \quad (2.27)$$

бу ерда  $c$  — доимий қиймат.

Агар катталикларнинг ўлчов бирликларини асосий ўлчамлар орқали ифодаланса, у ҳолда даража кўрсаткичлари ( $x, y, z$  ва ҳоказо)нинг қийматларини аниқлаш имконияти пайдо бўлади. СИ системасида асосий бирламчи ўлчамлар қаторига қуйидагилар қиради: узунлик  $L$ , масса  $M$ , вақт  $T$ , температура  $\Theta$ , ток кучи  $I$ , нур кучи  $J$ . Шундай қилиб:

$$[\Delta P] = \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \right] = [ML^{-1}T^{-2}];$$

$$[w] = \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] = [LTX^{-1}];$$

$$[\rho] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] = [ML^{-3}];$$

$$[\mu] = \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2 \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} \right] = [ML^{-1}T^{-1}];$$

$$[l] = [m] = [L];$$

$$[d] = [m] = [L];$$

(2.27) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\{\Delta P\} = c\{\omega\}^x \cdot \{\rho\}^y \cdot \{\mu\}^z \cdot \{L\}^r \cdot \{D\}^s \quad (2.28)$$

(2.28) тенглама таркибидаги катталикларни уларнинг ўлчам бирликлари орқали ифодалаб қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$ML^{-1}T^{-2} = c[LT^{-1}]^x \cdot [ML^{-3}]^y \cdot [ML^{-1}T^{-1}]^z \cdot [L]^r [L]^s \quad (2.29)$$

Бир хил катталикларни ўзаро бирлаштирамиз, у ҳолда:

$$ML^{-1}T^{-2} = L^{x-3y-z+r} T^{-x-z} M^{y+z} \quad (2.30)$$

Агар тенгламанинг иккала қисмидаги асосий бирликларнинг даража кўрсаткичларини ўзаро тенг деб олинса, қуйидаги тенгламалар системасига эришилади:

$$\left. \begin{aligned} -1 &= x - 3y - z + r, \\ -2 &= -x - z, \\ 1 &= y + z. \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

Бу системадаги учта тенглама бўйича 5 та номаълум бор. Ушбу тенгламаларни қуйидагича ечиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} x &= 2 - z \\ y &= 1 - z \\ r &= -v - z \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

Даража кўрсаткичлари  $x$ ,  $y$  ва  $r$  ни тенгламага қўйиш орқали қуйидагига эга бўламиз:

$$\Delta P = c\omega^2 \omega^{-z} \rho^{1-z} \mu^z \Gamma^r d^{-v-z} \quad (2.33)$$

ёки

$$\frac{\Delta P}{\rho \omega^2} = c \left( \frac{\omega d \rho}{\mu} \right)^{-z} \left( \frac{\Gamma}{d} \right)^r \quad (2.34)$$

(2.34) критериал тенгламаси труба ичидаги суюқлик ҳаракатини ифодалайди. Ушбу критериал тенглама таркибига иккита ўлчамсиз комплекс ва битта ўлчамсиз симплекс киради. Ўлчамларни таҳлил қилиш усули ёрдамида ушбу комплекс ва симплексларнинг кўринишлари аниқланган:

$$\text{Эйлер мезони } Eu = \frac{\Delta P}{\rho \omega^2},$$

$$\text{Рейнольдс мезони } Re = \frac{\omega d \rho}{\mu},$$

$$\text{Геометрик ўхшашлик мезони } \Gamma = \frac{l}{d}.$$

(2.34) тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$Eu = c Re^{-z} \Gamma^r \quad (2.35)$$

(2.35) — критериал тенгламани аниқ кўринишга келтириш учун доимий параметрлар ( $c$ ,  $z$  ва  $v$ ) нинг сон қийматлари тажриба йўли билан аниқланади.

## 2.5-§. МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ АСОСИЙ ПРИНЦИПЛАРИ

Ўхшашлик назарияси катта амалий аҳамиятга эга. Ушбу назария ёрдамида катта ўлчамли саноат қурилмаларида ташкил этиладиган мураккаб жараёнлар ўрнига кичик ўлчамли моделларда тажрибалар ўтказиш имкони туғилади. Бунда текшириладиган жараёнларни олиб бориш шароити бирмунча ўзгартирилади: температура ва босим пасайтирилади, иш муҳитлари алмаштирилади. Аммо жараённинг физик моҳияти ўзгартирилмайди. Шундай қилиб, ўхшашлик назариясининг услублари кимёвий технология жараёнларининг ўлчамларини ўзгартириш ва уларни моделлаштириш ишига асос бўлиб хизмат қилади.

Моделлаштириш — мавжуд ёки ташкил қилиниши лозим бўлган объект (оригинал)нинг шундай ўрганиш усули бўлиб, бунда асл объект ўрнига унинг ўрнини босиш мумкин бўлган бошқа объект — модел ўрганилади, олинган натижалар эса оригинални ҳисоблашда фойдаланилади. Моделлаштиришнинг асосий мақсади моделда ўлчаб олинган параметрлар асосида ишлаб чиқариш шароитидаги оригиналда юз бериши мумкин бўлган ҳолатни олдиндан аниқлаб беришга қаратилади.

Илмий-техника тараққиётининг ҳозирги босқичида ишлаб чиқаришга татбиқ қилинаётган жараёнларнинг деярли кўпчилиги жуда мураккабдир. Шу сабабли илмий тадқиқот ишларини олиб бориш анча қийинлашган, олинган натижалар эса жуда тез эскириб қолиши мумкин. Бундай шароитда вақт ҳал қилувчи аҳамиятга эга. Моделлаштириш қонуниятларидан фойдаланилган тақдирда янги жараёнларни ишлаб чиқаришга жорий қилиш вақти бирмунча қисқаради, белгиланган мақсадларни оддий усуллар ёрдамида ҳал қилинишига эришилади. Моделлаштиришда қуйидаги шарт-шароитлар бажарилиши керак:

а) моделда ўтказиладиган тажрибалар қисқа вақтда олиб борилиши, бу тажрибалар эса оригиналдагига нисбатан оддий, қулай арзон ва хавфсиз бўлиши зарур;

б) бир маъноли қоидалар — алгоритмлар маълум бўлиши керак, бу алгоритмлар ёрдамида моделдаги синон натижалари асосида оригиналнинг параметрлари ҳисобланилади;

в) моделнинг таркиби, тузилиши ва вазифаси моделлаштиришнинг асосий мақсадларига тўғри келиши керак, чунки ҳеч бир модел оригинални тўла ҳолда қайтариши қийин.

Ушбу кўрсатилган талабларни бажариш учун жараёнларни моделлаштиришда асосий ўхшашлик шарт-шароитларига риоя қилиш керак. Умуман олганда, моделларни яратиш ўхшашлик қоидалари ва ўхшашликнинг учта теоремасига асосланади.

Ҳозирги кунда моделлаштириш назарияси асосан икки хил йўналишда ривожланмоқда: 1) физик; 2) математик моделлаштириш.

*Физик моделлаштиришнинг* мазмуни шундан ибратки, модел оригинал билан бир хил табиатга эга бўлади ва унинг хусусиятларини қайтаради. Масалан, саноат печида металлдан тайёрланган катта вални қизитиш жараёни (оригинал) ўрнига лаборатория шароитида (яъни моделда) бошқа металлдан қилинган вални қизитиш жараёнини тадқиқот қилиш. Моделда ушбу вални қизитиш жараёнига физик параметрларнинг ҳамда модел ўлчамларининг таъсири ўрганилади. Сўнгра моделда олинган натижалардан оригиналда юз берадиган жараённи ҳисоблашда ва уни ташкил этишда фойдаланилади.

Математик моделлаштиришнинг асосий мақсади технология жараёнининг физик-кимёвий, гидродинамик ва конструктив катталикларини ўзаро боғлайдиган тенгламаларни тузишдан иборат. Математик моделлаштиришда асосан электрон-ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилади.

Кичик қурилмаларнинг (яъни моделларнинг) ўлчамларини ўзгартириб катта қувватли саноат қурилмаларига ўтишда моделлаштириш назарияси алоҳида аҳамиятга эга. Жараёнларни оптимал моделлаштириш янги корхоналарни лойиҳалаш ёки ишлаб турган корхоналарнинг мукаммаллаш даражасини ошишини таъминлайди. Моделлаштириш илмий усул сифатида кибернетиканинг асосини ташкил этади \*.

Моделлаштиришнинг хоҳлаган усулини қўллашда ҳам бир хил маъноли куйидаги шарт-шароитлар бажарилиши мақсадга мувофиқдир:

а) физик ва математик моделлаштиришда физик майдонларнинг геометрик ўхшашлиги таъминланиши керак;

б) физик ёки математик моделлаштириш учун вақт бўйича ўхшашлик бўлиши зарур. Бунинг махноси шундан иборатки, модел ва оригиналдаги жараёнларда физик катталикларнинг ўхшашлиги маълум бир вақт momentiда (яъни жараён бошланишидан маълум вақт ўтгандан сўнг) юз беради;

в) моделлаштиришнинг ҳар бир усулидан фойдаланилганда ҳам физик катталикларнинг ўхшашлигига эришиш зарур;

г) бошлангич шарт-шароитларнинг ўхшашлиги ҳам моделлаштириш учун жуда керак;

д) ўрганилаётган ҳодисаларни тўғри тадқиқ қилиш учун чегара шартларининг ўхшашлигини таъминлаш талаб қилинади.

Ўта мураккаб жараёнларни ўрганишда «поғонали» моделлаштириш усулидан фойдаланилади. Энг аввал жуда кичик моделлар (микромоделлар) тузилади. Бундай микромоделларни лаборато-

\* *Кибернетика* — ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш мақсадида мураккаб жараёнларни бошқариш ҳақидаги фан.

рия столи устига жойлаштириш мумкин. Олинган натижалар асосида каттароқ модел яратилади. Сўнгра саноат миқёсидаги қурилмага ўтилади. Бирок «погонали» моделлаштириш бир қатор камчиликларга эга. Кичик ва катта моделлардаги жараёнларни ташкил қилиш бир оз қийин, бундан ташқари кўп вақт талаб қилади. Олинган натижаларни моделдан оригиналга кўчириш бир неча погонали бўлганлиги учун ҳисоблашдаги аниқлик камаяди.

Умуман олганда моделлаштириш қуйидаги тартибда олиб борилади:

1) ўрганилаётган жараён дифференциал тенгламалар ва бир хил маъноли шарт-шароит қоидалари билан ифодаланади;

2) ўхшашлик мезонлари келтириб чиқарилади, уларнинг ичидан аниқловчи мезон ажратиб олинади ҳамда шу аниқловчи мезоннинг бошқа мезонлар билан боғлайдиган функционал тенглама тузилади;

3) модел ва оригиналдаги аниқловчи критерийларнинг ўзаро тенглигини ҳисобга олган ҳолда ҳар бир физик катталиқ учун ўхшашлик доимийликлари ёки константалари аниқланади;

4) олинган натижалар асосида шундай модел тайёрланадими, унинг иш ҳажми саноат қурилмасининг иш ҳажмига геометрик ўхшаш бўлиши керак, модел масштабини танлашда қурилманинг ўлчами ва иш унумдорлиги шундай ҳисобга олиниши керакки, бундай ҳолатда иш муҳитларининг тегишли тезлиги, сарфи, температураси ва бошқа катталиклари таъминланиши зарур;

5) тажрибалар ўтказишда аниқловчи мезонларнинг ўзгариш чегаралари моделда ҳам, оригиналда ҳам бир меъёردа бўлиши керак.

Юқоридаги шартларни тўла бажариш кимёвий технология учун янги жараёнлар ва қурилмаларни яратиш ва уларни қисқа вақтда саноатга жорий этиш имкониятини яратади.

#### ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 2.1. Ўхшашлик теоремалари ва бу теоремаларни яратган олимлар ҳақида нималар биласиз?
- 2.2. Гидромеханик, иссиқлик, диффузион ўхшашлик мезонлари мазмунини тушунтириб беринг. Галилей ва Архимед, Нуссельт ва Био мезонлари ўртасида қандай ўхшашлик ва фарқ мавжуд?
- 2.3. Ўлчамларни таҳлил қилиш усулидан қандай шароитларда фойдаланиш мумкин?
- 2.4. Бирорта мисол ёрдамида ўхшашлик назарияси ва моделлаштириш принципининг аҳамиятини тушунтириб беринг.
- 2.5. Математик ва физик моделлаштиришнинг асосий мақсади нимадан иборат? Моделлаштиришни қайси тартибда олиб бориш мақсадга мувофиқ бўлади?

## 3-б о б. МАТЕРИАЛЛАРНИ МАЙДАЛАШ

### 3.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

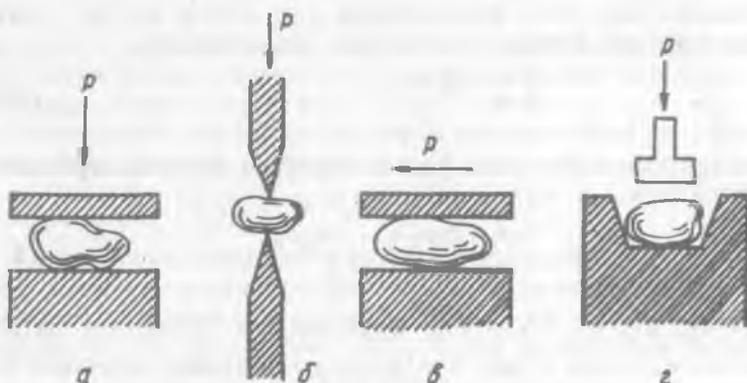
Кимёвий технологияда механик жараёнлар алоҳида аҳамиятга эга. Механик жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисм механикаси қонунлари билан ифодаланади. Бундай жараёнлар материалларга механик куч таъсир қилишига асосланади. Механик жараёнлар (майдалаш, синфларга ажратиш, саралаш, аралаштириш, эзиш, донадорлаш, узатиш ва ҳоказо) кимё ва бошқа саноат корхоналарида кўп ишлатилади.

Моддаларнинг диффузияси билан боғлиқ бўлган жараёнларнинг тезлиги фазаларнинг ўзаро таъсир қилиш юзасига боғлиқ. Ўзаро таъсир юзасининг катта бўлиши фазаларнинг ичидаги модда тарқалишини ва модда бир фазадан иккинчи фазага ўтишини тезлатади. Юза каттароқ бўлса кимёвий жараён ҳам тезлашади. Айниқса кимёвий ёки диффузион жараёнда қаттиқ фаза қатнашса ўзаро таъсир юзасини кўпайтириш алоҳида аҳамиятга эга. Қаттиқ фазанинг юзасини кўпайтиришга ташқи куч таъсирида заррачаларни майдалаш йўли билан эришилади. Майдалаш пайтида материал бўлақларининг ўлчами анча камаяди.

Қаттиқ материалларни майдалаш жараёни шартли равишда икки турга бўлинади: а) янчиш, яъни материални майда бўлақларга бўлиш (йирик, ўртача ва майда); б) майдалаш (юпка ва ўта юпка). Умуман олганда материалларни майдалаш жараёни эзиш, ёриш, ейилиш ва зарба бериш усуллари ёрдамида олиб борилади (3.1- расм). Материалнинг физик-механик хоссалари ва бўлақларининг ўлчамига кўра у ёки бу усул танлаб олинади. Масалан, қаттиқ ва мўрт материал эзиш, ёриш ва зарба бериш усули билан, қаттиқ ва қовушоқли материал эса эзиш ва ейилиш усули ёрдамида майдаланади.

Материалларни янчиш одатда қуруқ (сув ишлатмасдан) усул билан, юпка майдалаш эса кўпинча ҳўл усул билан (яъни сув ёрдамида) олиб борилади. Сув ишлатилганда чанг ҳосил бўлмайди ва майдаланган маҳсулотни ташиш осонлашади.

Дастлабки ва майдаланган материал бўлақларининг ўлчамларига кўра майдалаш жараёнининг синфларга бўлиниши 3.1- жад-



3.1- расм. Материалларни майдалаш усуллари:

а) эзиш; б) ёриш; в) ейлиш; г) зарба.

3.1- жадвал. Майдалаш жараёнининг синфларга бўлиниши

Майдалаш тури	Булакнинг ўртача ўлчами, мм		Майдаланиш даражаси
	майдаланишгача	майдалангандан сўнг	
Йирик янчиш	1500—300	300—100	2—6
Ўртача янчиш	300—100	50—10	5—10
Майда янчиш	50—10	10—2	10—50
Юпқа майдалаш	10—2	2—0,75	100
Ўта юпқа майдалаш	2—0,075	$7,5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-4}$	—

валда берилган.

Майдалаш жараёнининг самарадорлигини аниқлаш учун *майдаланиш даражаси* тушунчаси ишлатилади. Бу кўрсаткич майдаланишгача бўлган материал бўлагининг ўртача характерли ўлчами ( $d_0$ ) ни майдаланган материал бўлагининг ўртача характерли ўлчами ( $d_m$ ) га нисбати билан белгиланади:

$$i = \frac{d_0}{d_m} \quad (3.1)$$

Шарсимон бўлакнинг характерли ўлчами сифатида диаметр, куб шаклидаги бўлак учун эса — қиррасининг узунлиги олинади. Нотўғри геометрик шаклга эга бўлган бўлакнинг ўртача қиймати қуйидагича аниқланади:

$$d_x = \sqrt[3]{lbh}, \quad (3.2)$$

бу ерда  $l$ ,  $b$ ,  $h$  — материал бўлагининг ўзаро перпендикуляр йўналган учта томонининг максимал ўлчами. Бу ўлчамлар ичида энг каттаси ( $l$ ) — узунлик, ўртачаси ( $b$ ) — кенглик, энг кичиги ( $h$ ) — қалинлик.

Майдаланган бўлакнинг ўртача характерли ўлчамини аниқлаш учун сараловчи галвир ёрдамида материал бир неча фракцияга

ажратилади. Ҳар бир фракциядаги энг катта ва энг кичик бўлакнинг ўртача ўлчами қуйидагича аниқланади:

$$d_{\bar{y}} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}. \quad (3.3)$$

Аралашмадаги бўлакнинг ўртача характерли ўлчами қуйидагича ҳисобланади:

$$d = \frac{d_{y1}a_1 + d_{y2}a_2 + \dots + d_{yn}a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (3.4)$$

бу ерда  $d_{y1}, d_{y2}, d_{yn}$  — ҳар бир фракциядаги бўлакнинг ўртача ўлчами;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  — ҳар бир фракция таркиби, массавий %.

Материалларни майдалашга мосланган машиналар шартли равишда икки гуруҳга бўлинади: а) материалларни йирик, ўртача ва майда бўлакларга ажратувчи янчиш машиналари; б) материалларни юпқа ва ўта юпқа майдалайдиган тегирмонлар. Умуман олганда майдалаш машинаси очик ва чегараланган цикл билан ишлайди. Очик цикл қўлланилганда материал майдалайдиган қурилма орқали бир маротаба ўтади. Бундай шароитда йирик ва ўртача янчиш юз беради. Чегараланган циклда эса майдалаш машинасидан чиққан материал турларга ажратадиган қурилмага юборилади. Бу қурилмада катта ўлчамли заррачалар ажратиб олиниб, майдалаш машинасига қайтарилади. Чегараланган цикл материални юпқа майдалашда ишлатилиб, энергия сарфини камайтиришга ва майдаловчи машинанинг иш унумдорлигини оширишга олиб келади.

### 3.2-§. МАЙДАЛАШНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

Материал заррачаларининг ўзаро тортишиш кучини енгиш учун майдалаш пайтида ташқи куч таъсир қилинади. Каттик материал янчилганда унинг бўлаклари аввал ҳажмий деформацияга учрайди, сўнгра ҳосил бўлган катта ва кичик ёриқлар бўйлаб емирилиб кетади. Оқибатда янги юзалар ҳосил бўлади. Демак, материални янчиш учун бажарилган иш емирилаётган бўлакнинг ҳажмий деформацияси ва янги юза ҳосил қилиш учун сарфланади.

Материалнинг янчилиши пайтида ҳажмий деформация қилиш учун сарфланган иш емирилаётган бўлак ҳажмининг ўзгаришига мутаносиб бўлиб, қуйидаги ифода билан аниқланади.

$$A_d = k\Delta V, \quad (3.5)$$

бу ерда  $k$  — мутаносиблик коэффициент, каттик жисм ҳажмий бирлигини деформация қилиш учун сарф бўлган иш;  $\Delta V$  — емирилаётган бўлак ҳажмининг ўзгариши.

Янчиш пайтида янги юзани ҳосил қилиш учун сарфланган иш  $A_{\text{ю}}$  қуйидагича топилади:

$$A_{\text{ю}} = \sigma\Delta F, \quad (3.6)$$

бу ерда  $\sigma$  — мутаносиблик коэффиценти, каттик жисмда янги юза бирлигини ҳосил қилиш учун сарфланган иш миқдори;  $\Delta F$  — қайтадан ҳосил бўлган юза.

Янчиш учун сарф бўлган ташқи кучнинг тула иши Ребиндер тенгламаси орқали топилади.

$$A = A_a + A_m = k\Delta V + \sigma\Delta F \quad (3.7)$$

Катта бўлақларни кичик майдаланиш даражаси билан янчиш пайтида янги юза ҳосил қилишга сарфланган ишни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки унинг қиймати анча кичик бўлади. Бундай ҳолатда (3.7) — тенгламани қуйидагича ўзгартириш мумкин:

$$A = k\Delta V = k_1 d^3, \quad (3.8)$$

бу ерда  $k_1$  — мутаносиблик коэффиценти;  $d$  — бўлақнинг характерли ўлчами.

(3.8) — тенглама *Кук-Кирпичевнинг янчиш гипотезасини* ифодалайди. Бу гипотезага кўра қаттик материални янчиш учун сарфланган иш янчилаётган бўлақ ҳажмига (ёки массасига) мутаносиб. Агар янчиш жараёни юқори майдаланиш даражаси билан олиб борилса, (3.7) — тенгламадаги ҳажмий деформация учун сарфланган ишни ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки унинг қиймати янги юза ҳосил қилишга сарфланаётган ишга нисбатан анча камдир. Бундай ҳолатда (3.7) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$A = \sigma\Delta F = \sigma_1 d^2, \quad (3.9)$$

бу ерда  $\sigma_1$  — мутаносиблик коэффиценти.

(3.9) — тенглама *Риттингер гипотезасини* ифодалайди. Бу гипотезага кўра қаттик жисмни янчиш учун сарфланган иш янги ҳосил бўлган юзага мутаносибдир.

(3.7) — тенгламанинг ўнг томонидаги иккала ташкил этувчиларни ҳисобга олиш зарур бўлган пайтда (майдаланишнинг ўртача даражалари учун) Бонд қуйидаги тенгламани таклиф этган:

$$A = k_2 \sqrt{d^3 \cdot d^2} = k_2 d^{2.5} \quad (3.10)$$

*Бонд тенгламасига* асосан битта бўлақни янчиш учун сарфланган иш унинг ҳажми ва ҳосил бўлган янги юза ўртасидаги ўртача геометрик қийматига мутаносибдир.

(3.8) — (3.10) тенгламалар ёрдамида майдалаш жараёни учун сарфланган ишнинг абсолют миқдорини аниқлаш мумкин эмас, чунки мутаносиблик коэффицентлари ( $k_1$ ,  $\sigma_1$ ,  $k_2$ ) нинг қийматлари номаълумдир. Шу сабабдан ушбу тенгламалар майдалаш жараёнларини ўзаро солиштириш учун ишлатилади.

Янчиш машиналари (ёки тегирмонлар)нинг бирорта материални майдалаш учун сарф қиладиган қуввати тажриба йўли билан аниқланади. Бунинг учун бошқа майдалаш машинасининг ана шу материални майдалаш пайтида олинган тажриба натижаларидан фойдаланилади.

Агар ишлаб турган тегирмоннинг иш унуми  $Q_2$ , сарфланган қуввати  $N_2$ , материалнинг майдаланиш даражаси  $d_{62}/d_{m2}$  ва ишлаб чиқаришга жорий қилинаётган бошқа тегирмоннинг иш унуми  $Q_1$ , майдаланиш даражаси  $d_{61}/d_{m1}$  бўлса, у ҳолатда охириги тегирмоннинг сарф қиладиган қуввати  $N_1$  Риттингер гипотезасига асосан қуйидаги тенглама билан топилади:

$$N_1 = N_2 \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{d_{62} \cdot d_{m2}}{d_{61} \cdot d_{m1}} \cdot \frac{d_{61} - d_{m1}}{d_{62} - d_{m2}} \quad (3.11)$$

Ўқорида баён қилинган гипотезалардан фойдаланиш майдалаш жараёнларини тўғри ташкил қилиш ва бу жараёнларга сарф қиладиган энергияларни тахминан аниқлаш имкониятини беради.

Қаттиқ жисмларни майдалаш назарияси чуқур ўрганилган эмас. Шу сабабли майдалаш жараёнлари ва тегишли машиналарни мукамаллаш бўйича ҳамда янги юқори самарали майдалаш усуллари ва машиналарини яратиш соҳасида илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш мақсадга мувофиқдир. Бундай тадқиқотлар қуйидаги мақсадларни амалга оширишга қаратилган бўлиши керак: майдалаш нархини пасайтириш; солиштирма энергия сарфини ҳамда майдалаш машиналарининг ейилиши ва металл ушлашлигини камайтириш; машиналарнинг мустаҳкамлигини ошириш ва уларни ишлатишга қулай қилиш. Тадқиқотларнинг асосий мақсади маълум талабларга жавоб берадиган майдаланган хом ашё олишдан иборатдир. Бу талаблар қаторига қуйидагилар киради: а) маълум донали таркибга эга бўлган маҳсулот олиш; б) тегишли солиштирма юзага эришиши; в) майдаланган доналарнинг оптимал шаклга ва тегишли пишиқликка эга бўлишлиги.

### 3.3-§. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ ПРИНЦИПАЛ ЧИЗМАЛАРИ

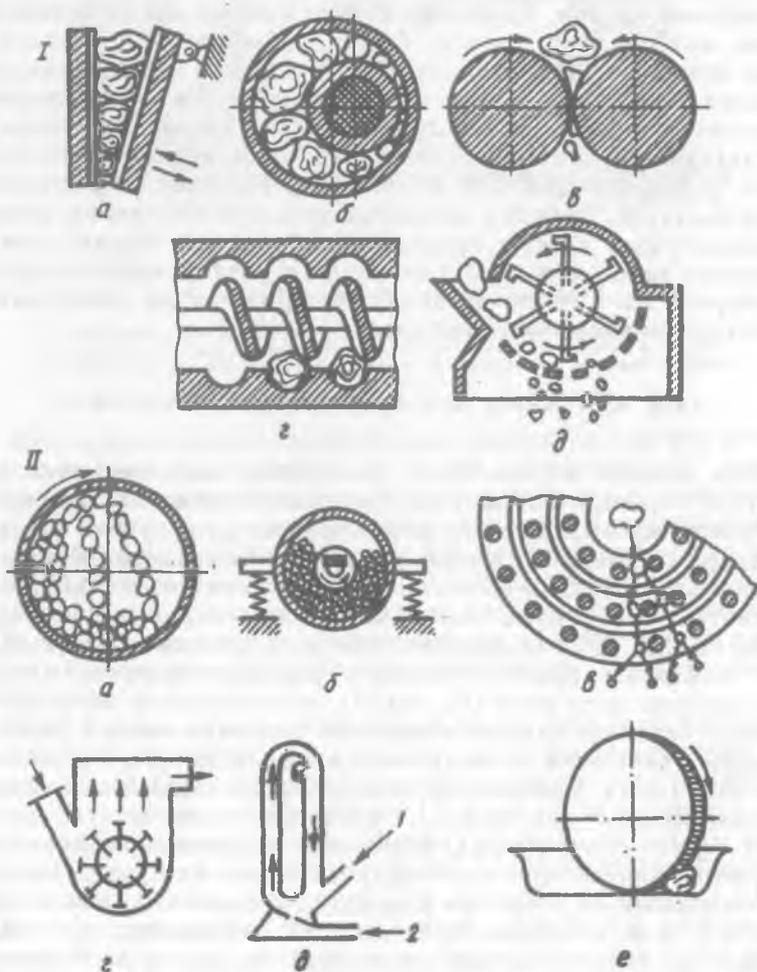
Саноатда қаттиқ жисмларни майдалаш мақсадида турли машина ва тегирмонлар ишлатилади.

Йирик янчиш учун ясси қисмли ва конусли машинадан фойдаланилади, бундай машиналар ёрдамида булақларнинг ўлчами 1500 мм дан кам бўлмаган материал майдаланиб, ҳосил бўлган булақларнинг ўлчами тахминан 100—300 мм атрофида бўлади.

Йирик янчишдан сўнг кўпинча материал қайтадан ўртача ва майда янчишга мосланган машиналарга юборилади, бундай ҳолатда доналарнинг ўртача ўлчами тахминан 100 мм дан то 10—12 мм гача камаёди. Ўрта ва майда янчиш учун валлари бўлган, зарба-марказдан қочма ва қия конусли янчиш машиналари ишлатилади.

Барабанли ва ҳалқа тегирмонларда материал юпка майдаланади (ўртача ўлчами 10—12 мм дан 2—0,075 мм гача).

Майдалаш машиналарининг принципаал чизмалари 3.2-расмда берилган. Ясси қисмли янчгичнинг ишлаш принципи қуйидагича бўлади. Ясси қисмлар даврий равишда ўзаро яқинлашганда материал эзиш, ёриш ва қисман ёйилиш принциплари асосида майдаланади. Конусли янчиш машиналари бир-бирига нисбатан эксцентрик ҳолатда айланадиган иккита конуслар оралиғида материални синиш, эзиш ва қисман ейилиш принциплари ёрдамида майдалашга асосланган. Валли янчгичларда матери-



3.2- расм. Майдалаш машиналарининг принципаал чизмалари:

I — янчиш машиналари: а — ясси қисмли; б — конусли; в — валли; г — шнекли; д — болгали;  
 II — тегирионлар: а — шарли; б — вибрацион шарли; в — дезинтегратор; г — аэродастали;  
 д — пурковчи; е — гилдиракли; 1 — материал; 2 — ҳаво.

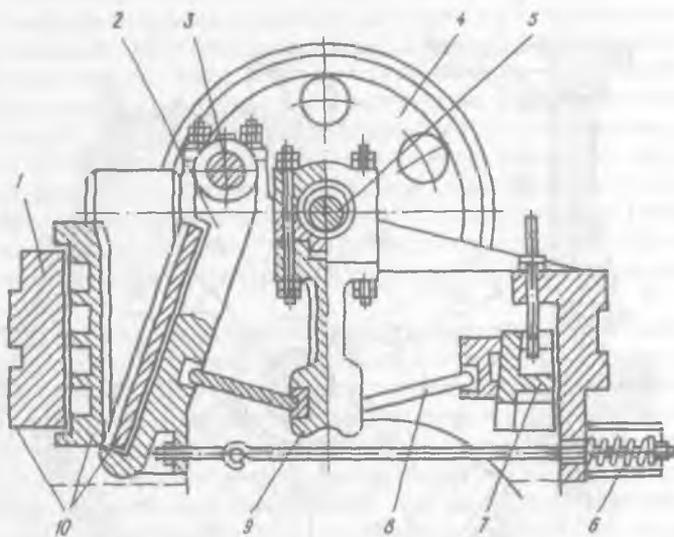
ал бир-бирига карама-қарши йўналган валлар оралигида эзилади. Агар валлар бир хил тезликка эга бўлса материалнинг ейилиши ҳам юз беради. Шнекли янчиш машиналарида материал кесиш ва қисман ейилиш жараёнида майдаланишга учрайди. Болғали янчигида қаттиқ жисм болғаларнинг зарбаси ва ейилиш таъсирида майдаланади.

Шарли тегирмонлар материални асосан юпка ва ўта юпка майдалаш учун ишлатилади. Бундай машиналар айланувчи ёки вибрация қилинадиган барабандан иборат бўлиб, уларнинг ичига майдаланиши лозим бўлган материал юборилади; материал доналари ўзаро тўкнашиб, зарба ва ишқаланиш кучи асосида майдаланиб кетади. Гилдиракли тегирмонлар майда янчиш ёки айрим материаллар (шамот, кварц, лой-туپроқ ва ҳоказо) ни дағал янчиш учун ишлатилади. Дағал янчишда майдаланишидан ташқари зичланиш, ейилиш юз беради ҳамда материалларнинг биргаликдаги аралашмаси ҳосил бўлади. Дезинтеграторлар ва аэродастали тегирмонларнинг ишлаш принциплари материалга зарба бериш принципига асосланган. Пурковчи тегирмонлар материалларни ўта юпка майдалаш учун мўлжалланган. Бундай машиналарнинг ишлаш принципи катта тезлик билан ҳаракат қилаётган ҳаво оқимининг таркибидаги қаттиқ заррачаларнинг бир-бирига ва камера деворларига урилиши ва ишқаланиши оқибатида майдаланиш юз беради.

#### 3.4- §. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ ТУЗИЛИШИ

**Ясси қисмли янчиги.** Ушбу майдалаш машинасининг конструктив чизмаси 3.3- расмда берилган. Машинанинг асосий иш органлари вазифасини қўзғалмас (1) ва қўзғалувчан (2) ясси қисмлар бажаради. Бу қисмларнинг усти емирилишга бардошли марганецли пўлатдан қилинган тарам-тарамли плиталар билан қопланган. Ушбу пўлат плиталар ясси қисмларни ейилишдан химоя қилади. Қўзғалувчан ясси қисм юқори томондан ўқ (3) га осиб қўйилган бўлиб, тебранма ҳаракат қилиши мумкин. Қўзғалувчан ясси қисм (2), вал (5), эксцентриклар шатун (9) ва тиргович плиталар ёрдамида тебранма ҳаракат қилади. Қўзғалмас ва қўзғалувчан ясси қисмлар пастки томонидаги тор тирқишнинг кенглиги (яъни машинадан чиқаётган майдаланган заррачаларнинг ўлчами) дастаклар (7) ёрдамида соланади.

Материал қўзғалувчан ва қўзғалмас ясси қисмлар оралигининг юқори томонидаги бўшлиққа берилади, бунда материал қўзғалувчан ясси қисмнинг тебранма ҳаракати таъсирида ёрилиш ва эзиш ҳисобига майдаланади. Майдаланган заррачалар аста-секин пастки тор тирқиш орқали ташқарига чиқарилади. Майдалаш жараёни давом этаётганда иш режимида қўзғалмас ва қўзғалувчан ясси қисмлар ўртасидаги масофа камаяди. Машинага материал берилмаган (яъни юксиз режимда) қўзғалувчан ясси қисм пружина (6) ёрдамида тортилади.



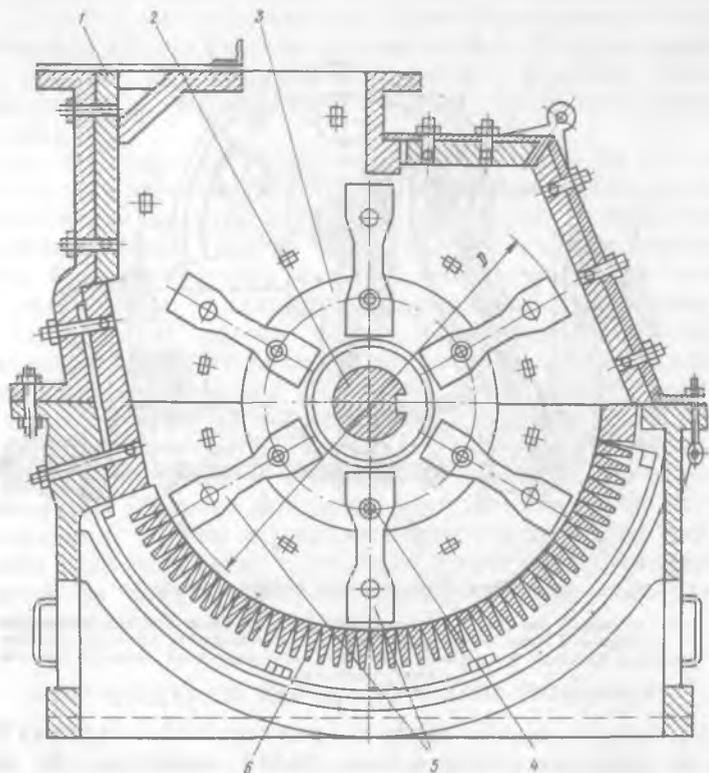
3.3- расм. Ясси қисмли янчиш машинаси.

1 — қўзғалмас юза; 2 — қўзғалувчан юза; 3 — қўзғалувчан юза илмогининг ўқи; 4 — маховик; 5 — вал; 6 — тортгичли пружина; 7 — созлайдиган дастаклар; 8 — тирговичли плиталар; 9 — эксцентрикли шатун; 10 — марганецли пулатдан қилинган плиталар.

Янчигичнинг энергия сарфи иш режимига кўра турлича бўлади. Юксиз режимда энергия кам талаб қилинади, бу энергия механизмдаги ишқаланиш кучларини енгиш учун сарфланади. Энергия асосан иш режимда, яъни юкланган материал янчилаётганда сарфланади. Машинанинг бир меъёрда ишлаши учун вал (5) га катта массали маховик (4) ўрнатилган. Маховикнинг вазифаси юксиз режимдаги механик энергияни ўзида йиғиш ва юкланган материалнинг миқдори бирдан кўпайиб кетган вақтда (яъни иш режимда) йиғилган энергияни сарф қилишдан иборатдир.

Ясси қисмли янчиш машиналари тоғ кимёси, металлургия ва рангли металллар саноатида хом ашёни қайта ишлашга тайёрлаш мақсадида ишлатилади. Ушбу машиналарнинг энг қувватлиси ўлчами кўндаланг кесими бўйича 1,5 м гача бўлган қаттиқ жисм бўлақларини янчиши мумкин. Бундай ҳолатда янчиш машинаси мураккаб комплексдан юборат бўлиб, кўп энергия талаб қилади.

**Болғали янчиш машинаси.** Бу қурилма (3.4- расм) зарба-марказдан қочма кучи асосида ишлайдиган янчиш машиналари турига киради. Бу машина ички қисми эскиришга бардошли марганецли пулат плиталари билан қопланган қобик (1), вал (2) ва валга ўрнатилган диск (3) дан иборат. Дискда палецлар (4) ёрдамида болғалар (5) эркин жойлаштирилган. Болғалар ҳам марганецли пулатдан тайёрланган. Қобикнинг пастки қисмида панжара (6) бор. Болғалари бўлган диск 40 м / с тезлик билан айланма ҳаракат қилади. Машинага тушган материал болғалар-



3.4-расм. Болғали янчиш машинаси:

1 — кобик; 2 — вал; 3 — диск; 4 — палецлар; 5 — болгалар; 6 — колосникли панжара.

нинг зарби ва плиталарга урилиш зарби таъсирида янчилади. Материал панжара орқали ўтганда қўшимча ейилиш ва эзилишга дуч келади.

Болғали янчиш машиналари юқори унумдорликка эга бўлиб асосан мўрт материаллар (оҳактош, тошқумир) ни майдалаш учун ишлатилади. Эскиришга чидамли бўлган материаллар ишлатилса-да янчигичнинг иш органлари тезда ейилиб кетади, роторини эса даврий равишда мувозанатда сақлаб туриш зарур бўлади.

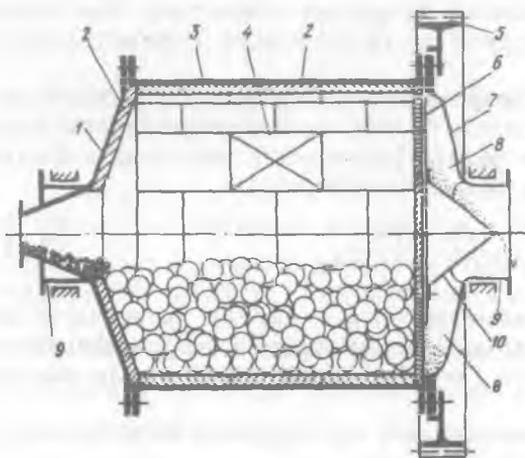
**Шарли тегирмон.** Шарли тегирмон майдаловчи жисмлар (металл ёки кварцдан тайёрланган шарлар) билан қисман тўлдирилган барабандан иборат. Барабanning айланиши пайтида ишқаланиш кучи таъсирида шарлар барабан билан бирга ҳаракат қилиб, маълум баландликка кўтарилгандан сўнг эркин тушиб, материални зарба кучи ва ейилиш натижасида майдалайди. Шарли тегирмонларнинг *диафрагмали*, *трубали*, *стерженли* ва *хоказо турлари* бор. 3.5-расмда диафрагмали тегирмон схемаси кўрсатилган. Бундай тегирмон ён томонидан қўйилган қопқоқлар

(1) ва (7) билан беркитилган калта цилиндрсимон барабандан иборат. Барабан ичи буш цапфалар (9) ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Қолқоқларнинг биттаси бутун кўндаланг кесими бўйича диафрагмали панжара (6) билан тўсилган бўлади. Диафрагмали панжара материалнинг катта булақларини ва шарларни ушлаб қолиш учун хизмат қилади. Майдаланган материал диафрагманинг тор тирқишлари орқали ўтиб, радиал қирралар (8) ёрдамида йўналтирувчи конус (10) га тукилади, сунгра ичи буш цапфа орқали машинадан ташқарига чиқарилади.

Юпка майдалаш учун мосланган тегирмонлар диаметри 25 дан то 150 мм гача бўлган пўлат шарлар билан тахминан ярмигача тўлдирилган бўлади. Тегирмондаги майдалаш жараёни қуруқ ва ҳўл усул ёрдамида олиб борилади. Ҳўл усулдан фойдаланилганда ҳосил бўлган суспензия юк туширувчи цапфа орқали ташқарига чиқарилади.

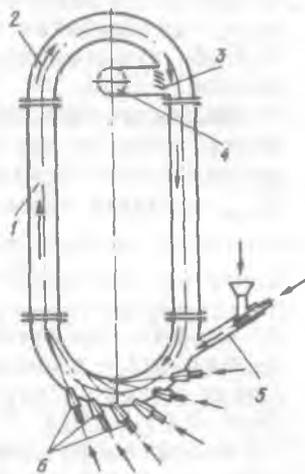
Шарли тегирмонларнинг майдалаш самарадорлиги ва энергия сарфи майдаловчи жисмларнинг айланиш тезлиги, оғирлиги ва ўлчамларига, ҳўл усул қўлланилганда эса суспензиянинг концентрациясига ҳам боғлиқ бўлади.

Шарли тегирмонлар бир қатор афзалликларга эга: исталган материални майдалаш мумкин; узқ давом этган иш режимида доимий майдаланиш даражасига эришилади; мустаҳкамлик ва хавфсизликни таъмин этади; ишлатиш жуда қулай. Камчиликлари: ўлчамлари катта; фойдали иш коэффицентини кичик; майдаловчи жисмларнинг ейилиши натижасида майдаланган материал заррачалари ифлосланади; машиналарнинг ишлаш жараёнида шовқин ҳосил бўлади.



3.5-расм. Шарли тегирмон:

1,7— қопқоқлар; 2— зирҳли плиталар; 3— барабан қобиги; 4— люк; 5— ҳаракатлантирувчи гилдирак; 6— диафрагмали панжара; 8— радиал қирралар; 9— ичи буш цапфа; 10— йўналтирувчи конус.



3.6-расм. Пурковчи тегирмон:

1— чегараланган труба; 2— юқориги тирсақ; 3— қиясимон тўсиқли панжара; 4— майдаланган маҳсулотни чиқарувчи труба; 5— материал берувчи илжектор; 6— сиқилган хаво бериб турувчи конусли найчалар.

**Пурковчи тегирмон.** 3.6- расмда трубади камерага эга бўлган пурковчи тегирмон кўрсатилган. Тегирмон чегараланган труба (1) дан иборат бўлиб, унинг пастки қисмида сиқилган ҳаво берувчи конусли найчалар (6) жойлаштирилган. Майдаланиши лозим бўлган материал тегирмонга инжектор (5) орқали берилади. Трубанинг ичида уюрмали оқим ҳосил бўлади. Уюрмали оқимнинг ичидаги заррачаларнинг кўп маротаба ўзаро урилиши натижасида материалнинг майдаланиши юз беради. Оқимнинг тирсак (2) дан ўтишида марказдан қочма куч майдони ҳосил бўлади, бу майдон ёрдамида майдаланган материал сараланади. Катта кинетик энергияга эга бўлган йирик заррачалар трубанинг ташқи девори томонга интилади ва ҳаракатни давом эттириб, қайтадан майдалаш зонасига тушади. Майда заррачалар эса ҳаво оқими билан биргаликда қиясимон тўсиқли панжара (3) дан ўтиб, труба (4) орқали қурилмадан ташқарига чиқарилади. Бу оқим сўнгра циклон ва англи филтёрларга юборилади.

Пурковчи тегирмонларда юқори даражада бир жинсли бўлган майдаланган маҳсулот олинади, бироқ улар кўп миқдордаги сиқилган ҳавони ишлатиш сабабли катта энергия сарфини талаб қилади. Шу сабабдан пурковчи тегирмонлар фақат қимматбаҳо маҳсулотларни ўта юпқа қилиб майдалашда ишлатилади.

### 3.5- §. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

Майдалаш машиналарини ҳисоблашнинг асосий мақсади майдаланган заррачаларнинг ўлчамларини, иш унумдорлиги ва талаб қилинадиган қувватни топишдан иборатдир. Ҳисоблаш тартиби қурилманинг турига ва унинг асосий параметрларига боғлиқ бўлади.

**Валли, ясси юзали ва конусли янчиш машиналари.** Валларнинг юзаси текис ва тарам-тарам бўлган бўлган янчиш машиналари учун материалнинг дастлабки бўлаги ўлчамининг максимал қиймати  $d_{6\text{max}}$  куйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$d_{6\text{max}} = \frac{D(1-f)+a}{f}, \quad (3.12)$$

бу ерда  $D$  — валнинг диаметри, м;  $a$  — валлар ўртасидаги тор тирқиш, м;  $f$  — валларнинг материални ушлаб олиш коэффициенти (текис юзали валлар учун  $f=0,954$ , тарам-тарам юзали валлар учун эса  $f=0,92$ ).

Валли янчиш машиналарининг иш унумдорлиги ( $G$ , кг/с) куйидаги тенглама билан топилади:

$$G = aL\omega\rho_r\mu, \quad (3.13)$$

бу ерда  $L$  — валнинг узунлиги, м;  $\omega$  — валнинг айланма ҳаракат тезлиги, м/с;  $\rho_r$  — тўкилган ҳолатдаги материалнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — валлар оралигини материал билан тўлиш даражасини характерлайдиган коэффициент (текис ва тарам-тарам юзали

валлар бўлган янчиш машиналари учун  $\mu = 0,25$ , тишли валлари бўлган машиналар учун эса  $\mu = 0,5 - 1,12$ ).

Ясси қисмли ва конусли янчиш машиналарининг иш унумдорлигини тўғридан-тўғри топишга имконият берадиган тенглама ҳозирча йўқ. Бундай машиналарнинг иш унумдорлигини топиш учун аввало уларни ўртача пишиқликка эга бўлган материалларни майдалашида синаб кўрилади, сўнгра олинган натижалар толқон бўлиш қобилияти коэффицентининг қийматига кўпайтирилади. Йирик ва майда янчишга мосланган машиналарнинг иш унумдорлиги ( $V$ , м<sup>3</sup>/с) ва майдаланган материал чиқадиган тирқиш кенглиги ( $a$ , мм) тегишли адабиётдаги жадвалларда берилади.

Майдаланган материал чиқадиган тирқишнинг бошқа қийматлари учун янчиш машинасининг иш унумдорлиги ( $V_a$ , м<sup>3</sup>/с) куйидаги тенглама ёрдамида аниқланилади:

$$V_a = V K_r \left(1 + \frac{\Delta a}{a}\right) \quad (3.14)$$

бу ерда  $V$  — янчиш машинасининг жадвалдан олинган иш унумдорлиги, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta a$  — майдаланган материал чиқадиган тирқиш кенглигининг ўзгариши, мм;  $K_r$  — материалнинг толқон бўлиш қобилиятини белгиловчи коэффицент.

Материалнинг толқон бўлиш қобилиятини характерловчи коэффицент майдалаш қурилмасининг тадқиқот қилинаётган материал бўйича олинган солиштирма иш унумдорлиги ( $q_n$ ) ни ушбу қурилманинг эталон материал бўйича эришилган солиштирма иш унумдорлиги ( $q_s$ )га нисбати билан ифодаланади:

$$K_r = \frac{q_n}{q_s} \quad (3.15)$$

Майдалаш қурилмасининг солиштирма иш унумдорлиги куйидагича топилади.

$$q_n = \frac{m}{V_c t} \quad (3.16)$$

бу ерда  $m$  — материал массаси, кг;  $V_c$  — майдалаш қурилмаси ҳажми, м<sup>3</sup>;  $t$  — майдаланган материал заррачаси ўлчамини маълум бир қийматга эришгунча кетган жараённинг давомлиги, с.

$K_r$  нинг сон қиймати материалнинг турига боғлиқ бўлиб, куйидагича ўзгаради: юмшоқ материаллар  $k_r = 1,2$ ; ўртача пишиқликка эга материаллар  $K_r = 1$ ; пишиқ материаллар  $K_r = 0,9$ ; жуда пишиқ материаллар  $K_r = 0,8$ .

Материалларни янчиш учун зарур бўлган энергия куйидаги тенглама ёрдамида аниқланади ( $N$ , Вт):

$$N = \frac{3(K_e \sigma_c)^2 G}{2E \rho_m} (i - 1) \quad (3.17)$$

бу ерда  $K_\sigma$  — материал бўлагининг пишиқлилик коэффициенти;  $\sigma_c$  — материалнинг сиқилишдаги пишиқлилик чегараси, Па;  $E$  — материалнинг эластиклик модули, Па;  $G$  — иш унумдорлик, кг/с;  $\rho_m$  — материал зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $i$  — майдаланиш даражаси.

Янчиш машинасини ҳаракатга келтирувчи электр двигателнинг қуввати қуйидаги ( $N_{дв}$ , Вт) тенглама билан топилади:

$$N_{дв} = \frac{N}{\eta_d \eta_m} \quad (3.18)$$

бу ерда  $\eta_d$  — янчиш машинасининг фойдали иш коэффициенти;  $\eta_m$  — механик узатишнинг фойдали иш коэффициенти.

**Болғали янчиш машиналари.** Ҳозирги кунда болғали янчиш машиналарини ҳисоблаш ва уларни танлаб олишнинг мукамал усули йўқ, шу сабабдан ҳисоблашнинг соддалаштирилган модели ишлатилади.

Болғали янчиш машиналари тегишли жадваллардан иш унумдорлик  $G$  ва материал бўлақларининг дастлабки энг катта ўлчами  $D_{max}$  га кўра танлаб олинади.

Материалнинг майдаланиш даражаси қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$i = \frac{\omega^2 z M \rho_m E}{3\sigma_c^2 (zM + m)} + 1 \quad (3.19)$$

бу ерда  $\omega$  — роторнинг болғалар қирралари бўйича айланиш тезлиги, м/с;  $M$  — идеал болга (зарба нуқтасига йиғилган)нинг массаси; кг;  $z$  — материал бўлагига бир пайтда зарба берадиган болғалар сони;  $m$  — материал бўлаги массаси, кг.

Идеал болганинг массаси идеал ва реал болғалар эркин осилган ўққа нисбатан олинган инерция моментларининг тенглиги-га асосан аниқланилади:

$$J = J_p = Mr^2, \quad (3.20)$$

бу ерда  $r$  — болғаларнинг тебранма ҳаракат радиуси, м.

(3.19) тенглама ёрдамида майдаланган материал бўлагининг ўлчамини аниқлаш мумкин.

Панжара тўсиқлари ўртасидаги, панжара ва болғалар оралигидаги масофаларнинг оптимал қиймати қуйидаги нисбат орқали топилади:  $a \geq 2d_{u \max}$ . Сўнгра олинган натижа асосида  $a$  нинг қиймати қуйидаги қатордан танлаб олинади (мм ҳисобида): 3; 5; 8; 13; 20; 32; 50. Агар  $a$  нинг ҳисобланган қиймати 50 мм дан ортиб кетса, у ҳолда майдалашни панжарасиз олиб бориш мақсадга мувофиқдир.

Янчиш машинаси двигателининг қувватини қуйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$N_{ав} = \frac{G\omega^2}{2\eta_d\eta_m}, \quad (3.21)$$

бу ерда  $G$  — иш унумдорлиги, кг/с;  $\eta_d$  — янчиш машинасининг фойдали иш коэффициентини ( $\eta_d = 0,5$ );  $\eta_m$  — механик узатишнинг фойдали иш коэффициентини ( $\eta_m = 0,9$ ).

Материал майдалаш қурилмасига шундай тезлик билан берилиши керакки, бунда унинг бўлақларини янчилиш зонасининг маълум бир қисмига кириб борилиши таъминланиши керак:  $c = 0,6 \cdot d_{\max}$ . Бундай шарт бажарилиши учун материал маълум баландликдан ташланиши зарур. Ушбу баландликнинг қиймати ( $H$ , м), қуйидаги ифода ёрдамида топилади:

$$H = 0,018(d_{\max} \cdot n \cdot z_p)^2, \quad (3.22)$$

бу ерда  $n$  — роторнинг айланиш частотаси,  $s^{-1}$ ;  $z_p$  — ротордаги болғаларнинг бўйлама кесими бўйича қаторлар сони.

**Шарли барабанли тегирмонлар.** Энг аввало материалларни майдалашга хизмат қиладиган шарларни ҳаракатга келтириш учун зарур бўлган қувват ( $N_{ш}$ , Вт) аниқланилади:

$$N_{ш} = G \cdot \mathcal{E}_c, \quad (3.23)$$

бу ерда  $G$  — берилган иш унумдорлиги, кг/с;  $\mathcal{E}_c$  — берилган материални майдалашнинг солиштирма энергияси, Ж/кг.

$\mathcal{E}_c$  нинг қиймати материал юзасининг киришдаги ва ундан чиқишдаги солиштирма майдонлари қиймати ( $F_{св}$  ва  $F_{со}$ ) га боғлиқ бўлади, яъни  $\mathcal{E}_c = f(F_c)$ .  $\mathcal{E}_c$  нинг сон қийматлари материалнинг турига боғлиқ.

Шарли тегирмондан чиқаётган майдаланган материалнинг солиштирма юзаси ( $F_{со}$ ,  $m^2/m^3$ ) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади.

$$F_{со} = \frac{41,4}{d_{ном}} \lg \left( \frac{d_{ном} \cdot 10^5}{5,47} \right), \quad (3.24)$$

бу ерда  $d_{ном}$  —  $R(d_{ном}) = 0,05$  шартига жавоб берадиган заррачанинг номинал ўлчами, м.

Шарли тегирмонлар учун заррачалар массасининг ўлчамлар бўйича тарқалиш функциясини қуйидаги соддалаштирилган тенглама орқали топиш мумкин:

$$R = \exp \left( - \frac{3d}{d_{ном}} \right), \quad (3.25)$$

$d_{\text{ном}}$  $N_{20}$  $m_{\text{ш}} \quad ^2 L \rho_{\text{тш}}$  $R$  $M$  $\rho_{\text{тш}}$  $(d_{\text{с max}})$ 

$$3 \sqrt{\frac{18\sigma_c^2}{\rho_{\text{ш}} \pi E \omega_{\text{ш}}^2} d_{\text{с max}}}$$

 $2$  $R_k$ 

$$N_{20} = K_{\text{N}} \rho_{\text{тш}} R^{2.5} L_{\text{ш}}$$

бу ерда  $\rho_{тш}$  — шарлар ва материалнинг биргаликда тўкилгандаги зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\eta_m$  — механик ўтказишнинг фойдали иш коэффициенти ( $\eta_m=0,9$ );  $K_N$  — барабанга юкланган шарлар катлами қувватининг коэффициенти;  $R$  — барабаннинг ички радиуси, м.  
 $K_N$  нинг қиймати қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$K_N = \frac{60 N_m}{\rho_{тш} R^{2,5} L g} \quad (3.31)$$

$\rho_{тш}$  ни аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади:

$$\rho_{тш} = \rho_m + 1,15 \left( 1 - \frac{\rho_{тш}}{\rho_m} \right) \rho_m \quad (3.32)$$

бу ерда  $\rho_m$  — тўкилган ҳолатдаги материалнинг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ .  
 (3.32) тенгламадаги 1,15 шарлар оралигидаги бўшлиқнинг 15 фоизда майдаланган материал борлигини билдиради.

#### ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 3.1. Нима учун саноатда қаттиқ жисм заррачалари майдаланади? Майдалаш диффузия жараёнига қандай таъсир кўрсатади?
- 3.2. Майдалаш жараёни қандай принципларга асосан синфларга бўлинади? Бу жараённинг ҳаракатлантирувчи кучи нимадан иборат?
- 3.3. Майдаланиш даражасини тушунтиринг ва бу кўрсаткични қандай ҳисоблаш мумкин?
- 3.4. Қаттиқ материалларни майдалаш буйича қандай гипотезалар бор? Тадқиқот ишлари қандай йўналишда олиб борилиши мақсадга мувофиқ бўлади?
- 3.5. Майдалашнинг нечта принципиал схемалари мавжуд? Уларнинг ўзаро фарқи ва умумий томонлари нималардан иборат?
- 3.6. Ясси қисмли ва болғали янчигичлар ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор? Бундай майдалаш машиналари қаерларда ишлатилади?
- 3.7. Шарли ва пурковчи тегирмонлар қандай тузилган, уларнинг афзаллиги ва камчиликлари нималардан иборат?
- 3.8. Конусли ва валли янчиш машиналари, дезинтегратор ва дисмембратор, барабанли ва вибрацион тегирмонлар қайси принциплар асосида ишлайди?
- 3.9. Майдалаш машиналарини ҳисоблашда қандай параметрларга аҳамият берилади? Ҳисоблаш ишларининг асосий мақсади нимадан иборат?
- 3.10. Материалларни синфлаш ва саралашнинг кимёвий технологиядаги аҳамияти. Ушбу мақсадлар учун ишлатиладиган машиналар қандай принципларга асосланган?
- 3.11. Эзиш ва дондорлаш жараёнларининг назарий асослари. Эзиш ва дондорлашга мосланган машиналарнинг ишлаш принципларида қандай умумийлик бор?
- 3.12. Қаттиқ материалларни узатувчи транспорт элементларининг турлари. Транспорт қурилмаларининг иш унумдорлиги ва энергия сарфини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?

## 4-б о б. ТЕХНИКА ГИДРАВЛИКА АСОСЛАРИ

### 4.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кимё ва озик-овқат саноатининг барча тармоқларида гидромеханик жараёнлар кўп ишлатилади. Бундай жараёнлар қаторига қуйидагилар киради: а) суюқликлар, газлар ва уларнинг аралашмаларини трубопроводлар ва қурилмалар орқали силжитиш; б) ҳар хил жинсли системаларни турли усуллар билан ажратиш (чўктириш, синфлаш, фильтрлаш, центрифугалаш); в) суюқ муҳитларни аралаштириш; г) қаттиқ жисмларни ҳаво оқими ёрдамида узатиш (пневмотранспорт); д) мавҳум қайнаш қатламнинг ҳосил бўлиши. Бу жараёнларнинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан ифодаланади.

*Гидромеханика* — суюқликнинг мувозанати ва ҳаракатини ҳамда суюқлик билан унга тўла ёки қисман чўктирилган жисм ўртасидаги ўзаро таъсирини ўрганувчи фан. Саноат қурилмаларида олиб бориладиган иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнларининг тезлиги кўпинча гидромеханика қонуниятларига боғлиқ бўлади. Гидромеханика қонунлари ва улардан амалиётда фойдаланиш усуллари *гидравлика фанида* ўрганилади.

Гидравлика икки асосий қисмдан: суюқликларнинг мувозанат қонунларини ўрганадиган *гидростатика* ва суюқликларнинг ҳаракат қонунларини ўрганадиган *гидродинамика*дан иборат.

Суюқликлар *оқувчанлик* хусусиятига эга. Суюқлик гўё маълум ҳажмга эга, лекин шаклга эга эмас (қандай идишга солинса, уша идиш шаклини олади), аммо суюқ масса ташқи кучлар бўлмаган шароитда, фақат молекуляр кучлар таъсири остида шар шаклини олади. Моддаларнинг суюқ ҳолати ўз табиатига кўра газ ҳолат билан қаттиқ ҳолат ўртасидаги оралик ўринни эгаллайди.

Суюқлик ва газларнинг ҳаракат тезликлари товуш тезлигидан паст бўлгани учун уларнинг ҳаракат қонунлари бир хил. Шунинг учун *гидравликада суюқлик дейилганда газ ҳам, суюқлик ҳам тушунилади*. Уларни бир-биридан ажратиш учун суюқликлар томчили, газлар эса *эластик суюқлик* деб қаралади.

*Суюқлик ва газлар қуйидаги хоссалари билан бир-бирига ўхшайди*; 1) суюқликлар худди газлар каби маълум шаклга эга эмас, унинг физик хоссалари барча йўналишда бир хил, яъни изотропдир; 2) газларнинг қовушоқлиги кичик бўлиб, суюқликларникига яқинлашади; 3) критик температурадан юқори температурада суюқликлар билан газлар орасидаги фарқ йўқолади. Суюқликларнинг мувозанат ва ҳаракат қонунлари дифференциал тенгламалар билан ифодаланади. Бошқа соҳаларда бўлгани каби гидравликада ҳам назарий тадқиқотлар натижаларини соддалаштириш мақсадида идеал суюқлик моделидан фойдаланилади.

Босим ва температура таъсирида ўз ҳажмини ўзгартирмайдиган ёки сиқилмайдиган, ўзгармас зичликка эга ва ички ишқалани-

ши (қовушоқлиги) бўлмаган суюқликлар *идеал суюқлик* деб айтилади. Аслида эса ҳар қандай суюқлик босим ёки температура таъсирида ўз ҳажмини ўзгартиради. Ҳар қандай суюқликда ички ишқаланиш кучи ва қовушоқлик бўлади. Демак, ҳақиқатда табиатда идеал суюқлик бўлмайди, яъни *барча суюқликлар ҳақиқий суюқликдир*. Аммо баъзи суюқликларнинг қовушоқлиги жуда кичик бўлади. Улар температура ва босим таъсирида ўз ҳажмини шу қадар кам ўзгартирадики, бу ўзгаришни амалда ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бундай суюқликлар шартли равишда идеал суюқликлар дейилади. Бу тушунча ҳақиқий суюқлик қонунларини ўрганишни осонлаштиради. Эластик суюқликларнинг ҳажми температура ва босим таъсирида кескин ўзгаради.

Гидродинамикани *ўрганиш масалалари уч турса* бўлинади: ички, ташқи ва аралаш. Суюқлик ёки газларнинг труба ва каналлар бўйича ҳаракати гидродинамиканинг ички вазифасини, қаттиқ заррачаларнинг газ ёки суюқ муҳитдаги ҳаракати ташқи вазифани, суюқлик ва газларнинг қаттиқ жисм қатлами орқали ҳаракати эса аралаш вазифани ташкил этади.

#### 4.2-§. ГИДРОСТАТИК БОСИМ

Сирт ва ҳажм кучларининг таъсирида суюқликнинг ичида гидростатик босим пайдо бўлади. Тинч турган суюқлик ҳажмидан элементар юза  $\Delta F$  ни ажратиб оламиз. Ушбу юзанинг турган ҳолатидан ташқари унга нормал бўйича йўналган маълум бир куч  $\Delta P$  таъсир қилади. Ушбу кучнинг элементар юзага нисбати ( $\Delta P / \Delta F$ ) ўртача гидростатик босимни ташкил этади:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (4.1)$$

Элементар юзанинг айрим нуқталаридаги ҳақиқий босим эса турлича (бир нуқтада қўпроқ, бошқа нуқтада эса камроқ) бўлиши мумкин.  $\Delta F$  нинг қиймати қанча кичик бўлса, бирор нуқтадаги ҳақиқий босим ўртача гидростатик босимга анча яқин бўлади.

Элементар юзанинг қиймати нолга яқинлаштирилган ҳолатдаги кучнинг юзага нисбати берилган нуқтадаги ҳақиқий гидростатик босим (ёки гидростатик босим) деб аталади:

$$P = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \quad (4.2)$$

Босимнинг йўналиши ва таъсири суюқликнинг ҳамма нуқталарида бир хил, чунки бу куч ҳаммавақт нормал бўйича йўналган бўлади. Бундан кўринадики, босимнинг катталиги юзанинг шаклига ва унинг қандай жойлашганлигига боғлиқ эмас.

Босимнинг СИ системасидаги ўлчов бирлиги  $\text{Н/м}^2$  ёки Па. Бу бирлик жуда кичик бўлганлиги сабабли, йириклаштирилган

бирликлар ишлатилади: килопаскаль ва мегапаскаль ( $\text{кПа}=10^3$  Па;  $\text{мПа}=10^6$  Па).

Амалиётда гидростатик босимнинг қиймати бошқа ўлчов бирликлари орқали ҳам ифода қилинади: техник атмосфера (ат); физик атмосфера (атм); дин/см<sup>2</sup>; бар; симоб устуни; сув устуни ва ҳоказо. 1 кгк/см<sup>2</sup> га тенг бўлган босим техник атмосфера деб аталади. 10<sup>5</sup> паскальга тенг бўлган босим бир барни ташкил этади.

Техник атмосфера (ат) физик атмосфера (атм) дан фарк қилади. Физик атмосфера денгиз сатҳидаги стандарт атмосфера босими бўлиб 1,033 кгк/см<sup>2</sup> га тенг. Техник ва физик атмосфера билан бошқа босим бирликлари ўртасида қуйидаги нисбат мавжуд:

1 ат=1 кгк/см<sup>2</sup>=10<sup>4</sup> кгк/м<sup>2</sup>=9,81·10<sup>4</sup> Па=735 мм сим. уст. =10<sup>4</sup> мм сув уст.

1 атм=1,033 кгк/см<sup>2</sup>=1,033·10<sup>4</sup> кгк/м<sup>2</sup>=1,033·10<sup>5</sup> Па=760 мм сим. уст. =1,033·10<sup>4</sup> мм сув уст.

Паскаль ва бошқа бирликлар ўртасида яна қуйидаги нисбат бор:

1 дин/см<sup>2</sup>=0,1 Па; 1 бар=10<sup>5</sup> Па; 1 мм сув уст. =9,81 Па; 1 мм сим. уст. =133,3 Па.

Амалиётда гидростатик босим турли усуллар билан ҳисобланади. Агар гидростатик босим ўлчанаётган пайтда суюқликнинг эркин юзасига таъсир қилаётган атмосфера босими ҳам ҳисобга олинса, бу ҳолатдаги гидростатик босимни *тўла ёки абсолют босим* деб юритилади. Бундай шароитда одатда техник атмосфера ўлчанади, у абсолют босим (ата) ни ташкил этади.

Кўпинча гидростатик босимни ўлчашда суюқликнинг эркин юзасига таъсир қилаётган атмосфера босими ҳисобга олинмайди. Бунда атмосфера босимдан ортиқча бўлган, манометрик босим аниқланади. Манометрик босим суюқликдаги абсолют босим ва атмосфера босими ўртасидаги айирмага тенг:

$$P_{\text{ман}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}} \quad (4.3)$$

Манометрик босим техник атмосфера билан ўлчаниб, ортиқча босим (ати) ни ташкил этади.

Агар жараён сийракланиш шароитида (вакуумда) кетса, вакуумнинг қиймати атмосфера босими билан суюқликдаги абсолют босимнинг орасидаги айирмага тенг бўлади:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}} \quad (4.4)$$

$P_{\text{вак}}$  нинг қиймати нолдан атмосфера босими ўртасидаги чегарада ўзгариши мумкин. Масалан, абсолют босим  $P_{\text{абс}}=0,3$  ата бўлганда вакуумнинг қиймати  $P_{\text{вак}}=1-0,3=0,7$  ати ни ташкил этади.

### 4.3- §. СУЮКЛИК МУВОЗНАТ ҲОЛАТИНИНГ ЭЙЛЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Бирор идишда тинч турган суюқликка оғирлик ва босим кучлари таъсир қилади. Бу кучларнинг ўзаро таъсирининг суюқлик ичида тақсимланиши *Эйлер* томонидан ишлаб чиқилган *дифференциал тенглама* билан ифодаланади. Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун идишдаги суюқлик ҳажмидан кичкина параллелепед шаклидаги бўлакча олиб, фазовий координаталар системасида унга таъсир қилаётган кучларни қўрамиз (4.1- расм).

Параллелепеднинг ҳажмини  $dv$ , унинг  $x$ ,  $y$  ва  $z$  координаталар ўқиға параллел йўналган қирраларини  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  билан белгилаймиз. Параллелепедга таъсир қилаётган оғирлик кучи масса  $m$  билан эркин тушиш тезланиши  $g$  нинг кўпайтмасиға тенг, яъни  $g dm$ . Гидростатик босим кучлари эса гидростатик босимнинг шу қирралар юзаси кўпайтмасиға тенг бўлиб, унинг қиймати координаталар ўқларига боғлиқ:

$$P = f(x, y, z).$$

Статиканинг асосий қондасиға мувофиқ тинч ҳолатда турган кичкина ҳажмға таъсир қилаётган барча кучларнинг координаталар ўқларига нисбатан олинган проекцияларининг йиғиндиси нолға тенг, акс ҳолда суюқлик ҳаракатда бўлар эди.

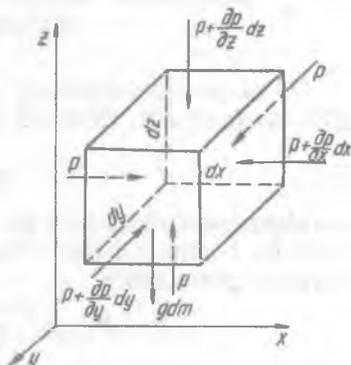
Кучлар йиғиндисини  $z$  ўққа нисбатан проекциялаймиз. Оғирлик кучи  $z$  ўққа параллел ва унга қарама-қарши томонға йўналган, шунинг учун бу куч  $z$  ўққа манфий (—) ишора билан проекцияланади:

$$-g dm = -g \rho dv = -\rho g dx dy dz.$$

Параллелепеднинг ҳажми:

$$dv = dx dy dz.$$

Параллелепеднинг пастки қиррасиға гидростатик босим нормал бўйича таъсир қилади ва унинг  $z$  ўққа нисбатан проекцияси  $P dx dy$  га тенг. Агар  $z$  ўқ бўйича бирор нуқтадаги гидростатик босимнинг ўзгариши  $\partial P / \partial z$  бўлса,  $dz$  қирранинги узунлигида бу босим  $\frac{\partial P}{\partial z} dz$  га тенг бўлади. Бунда қарама-қарши



4.1- расм. Мувозанат ҳолатининг Эйлер тенгламасини аниқлаш

(юкориги) киррадаги гидростатик босим  $(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz)$  га тенг ва унинг  $z$  ўқ бўйича проекцияси:

$$-(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz) dx dy .$$

$z$  ўққа тенг таъсир этувчи босим кучларининг проекцияси:

$$P dx dy - (P + \frac{\partial P}{\partial z} dz) dx dy = -\frac{\partial P}{\partial z} dx dy dz .$$

$z$  ўққа проекцияланган умумий кучларнинг йигиндиси нолга тенг ёки:

$$-\rho g dx dy dz - \frac{\partial P}{\partial z} dx dy dz = 0 .$$

Параллелепипеднинг ҳажми нолга тенг эмас, яъни  $dV = dx dy dz \neq 0$ . Шунинг учун

$$-\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

Оғирлик кучининг  $x$  ва  $y$  ўқларга нисбатан проекцияси нолга тенг, бу ўқларга фақат гидростатик босим таъсир қилади. Унинг  $x$  ўққа проекцияси:

$$P dy dz - (P + \frac{\partial P}{\partial x} dx) dy dz = 0 .$$

Қавсни очиб, тегишли қискартиришларни бажарсак:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Худди шунингдек  $y$  ўқ учун:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial y} dx dy dz &= 0, \\ -\frac{\partial P}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

Шундай қилиб, кичкина параллелепипеднинг мувозанат шarti куйидаги тенгламалар системаси билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= 0 \\ -\frac{\partial P}{\partial y} &= 0 \\ -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Бу тенгламалар системаси Эйлернинг суяқлик мувозанат

холатининг дифференциал тенгламаси дейилади. Суюқликнинг исталган нуктасидаги гидростатик ва оғирлик кучини аниқлаш учун бу тенгламалар системасини интеграллаш керак. Тенгламаларнинг интегралли гидростатиканинг асосий тенгламаси бўлиб, муҳандислик ҳисоблаш ишларида кенг қўлланилади.

#### 4.4-§. ГИДРОСТАТИКАНИНГ АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

(4.7) тенгламалар системасидан кўришиб турибдики, тинч турган суюқликнинг исталган нуктасидаги босимнинг  $x$  ва  $y$  ўқлар бўйича ўзгариши нолга тенг бўлиб, босим вертикал  $z$  ўқ бўйича ўзгаради. Шунинг учун  $\frac{\partial P}{\partial z}$  хусусий ҳосила миқдорини  $\frac{dP}{dz}$  билан алмаштирамиз, у ҳолда:

$$-\rho g - \frac{dP}{dz} = 0.$$

Бундан

$$-dP - \rho g dz = 0 \quad (4.8)$$

Тенгламанинг чап ва ўнг қисмини  $\rho g$  га бўлиб, ишораларини ўзгартирамиз:

$$dz + \left(\frac{1}{\rho g}\right)dP = 0.$$

Бир жинсли аниқ сиқилмайдиган суюқликларнинг зичлиги ўзгармас бўлгани учун

$$dz + d\left(\frac{P}{\rho g}\right) = 0 \quad \text{ёки} \quad d\left(z + \frac{P}{\rho g}\right) = 0.$$

Бу тенгламани интеграллаймиз, у ҳолда:

$$z + \frac{P}{\rho g} = \text{const.} \quad (4.9)$$

Бу тенглама гидростатиканинг асосий тенгламаси дейилади.

Тенгламада  $z$  — ихтиёрий горизонтал текисликка нисбатан олинган нуктанинг баландлиги (нивелир баландлик) ёки геометрик напор,  $\frac{P}{\rho g}$  — статик ёки пьезометрик напор (ёки босим кучи).

Гидростатиканинг асосий тенгламасига мувофиқ, тинч турган суюқликнинг ҳар қандай нуктасида геометрик ва статик босим кучларининг йиғиндиси ўзгармас миқдорга тенг. Нивелир баландлик ва статик босим кучи метр ҳисобида ифодаланади. Умумий ҳолда тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P = P_0 + \rho g z. \quad (4.10)$$

$P_0$  — тинч турган суюқлик сиртига таъсир қилаётган атмосфера босими.

(4.10) тенгламадан кўришиб турибдики, тинч турган бир жинсли суюқликнинг бир хил ҳажмида битта горизонтал текисликда жойлашган барча заррачалари бир хил гидростатик босим остида бўлади. Ҳар қайси нуқтадаги гидростатик босимнинг катталиги суюқлик устунининг баландлигига боғлиқ. Бу тенглама Паскаль қонунининг бир кўринишидир, яъни бу тенгламага биноан тинч ҳолатдаги суюқликнинг исталган нуқтасига таъсир этаётган ташқи босим суюқликнинг барча нуқталарига ўзгаришсиз узатилади.

#### 4.5-§. НЬЮТОН ВА НОНЬЮТОН СУЮҚЛИКЛАР

Ҳамма газлар ва кичик молекуляр массага эга купчилик суюқликларнинг умумлашган механик хоссаларини *Ньютоннинг ишқаланиш қонуни* (1.17) орқали ифодалаш мумкин. Бундай суюқликлар *ньютон суюқликлари* деб юритилади. Берилган температура ва босимдан ньютон суюқликларининг қовушоқлиги ўзгармас қийматга эга бўлади.

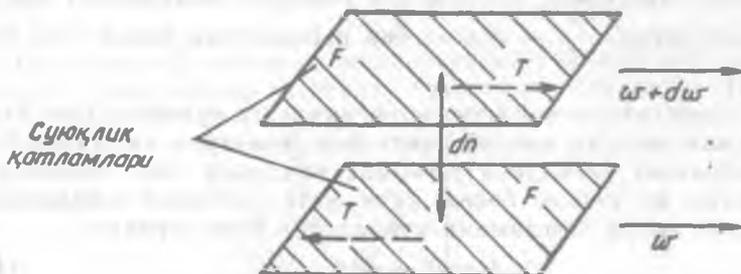
Аммо баъзи суюқликлар (полимерларнинг эритмаси, бўёқ, целлюлоза, паста, суспензиялар ва ҳоказо) анча мураккаб қовушоқлик хоссаларига эга, бундай суюқликлар (яъни *ноньютон суюқликлар*)нинг хоссаларини Ньютон қонуни ёрдамида ифодалаш мумкин эмас. Ноньютон суюқликларда қовушоқлик ҳолат параметрларидан ташқари оқиш шарт-шароитларига ҳам боғлиқ бўлади. Ноньютон суюқликларда қовушоқлик доимий қийматга эга эмас, қовушоқликнинг қиймати силжиш тезлигига ва унинг давомлилигига қараб ўзгаради.

Ньютоннинг ишқаланиш қонуни (1.17) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{T}{F} = \tau = \mu \frac{dw}{dn} \quad (4.11)$$

бу ерда  $\tau$  — силжиш кучланишлиги (ички ишқаланиш кучланишлиги ёки кучланишлик уринмаси), Па.

(4.11) тенгламадаги  $\tau$  нинг қиймати доимий мусбат бўлади. Агар бир-бирига нисбатан ҳаракат қилувчи суюқлик қатламлари



42-расм. Қовушоқликнинг аниқлаш

(4.2- расм) юзаси  $F$  га нормал ўтказиш пайтида унинг йўналишини тезлик камроқ томонга қараб олинса,  $y$  ҳолда тезлик градиентининг қиймати доимо манфий бўлади. Бундай ҳолатда (4.11) тенглама куйидагича ёзилади:

$$\tau = -\mu \frac{dw}{dn} \quad (4.11 \text{ а})$$

(4.11) ёки (4.11 а) тенглама Ньютоннинг ички ишқаланиш қонунини ифода қилади. Бу қонунга кўра, суюқликнинг оқиши пайтида унинг қатламлари ўртасида пайдо бўлган ички ишқаланиш кучланишлиги нормал бўйича олинган тезлик градиентига тўғри пропорционалдир.  $\tau = -\mu \frac{dw}{dn}$  боғлиқлигини график шаклда

кўрсатиш мумкин. Бундай боғлиқлик *оқиш эгри чизиғи* дейилади (4.3- расм). Расмда ньютон, бингам, мавҳум пластик ва дилатант суюқликларга тегишли эгри чизиклар берилган.

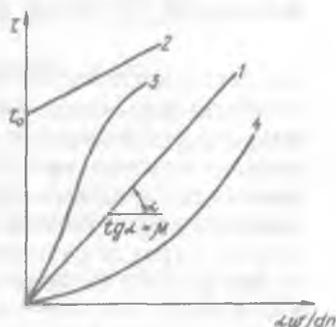
Ньютон суюқликлар учун  $\tau$  билан  $\frac{dw}{dn}$  ўртасидаги боғлиқлик тўғри чизиқни ташкил этади (1- чизик). Бу чизик қиялик бурчагининг тангенсидинамик қовушоқлик коэффициентига тенг бўлади:  $\operatorname{tg} \alpha = \mu$ .

*Бингам ёки пластик суюқликлар* қаторига суспензиялар, ҳўл кум, лой, пасталар киради. Силжиш кучланиши кичик қийматга эга бўлганда бундай суюқликлар окмайди (2- чизик), фақат уларнинг шакли ўзгаради.  $\tau > \tau_0$  бўлганда оқиш бошланади ва кейинчалик пластик суюқликлар ўзининг хоссалари бўйича ньютон суюқликка ўхшаб қолади. Пластик суюқликлар учун оқиш эгри чизигининг тенгламаси куйидагича ёзилади:

$$\tau - \tau_0 = \mu_{\text{пл}} \frac{dw}{dn} \quad (4.12)$$

бу ерда  $\mu_{\text{пл}}$  — пропорционаллик коэффициенти (ёки пластик қовушоқлик).

*Мавҳум пластик суюқликлар* (масалан, полимерларнинг эритмалари, целлюлозалар, асимметрик заррачали суспензиялар) силжиш кучланишлиги жуда кичик қийматга тенг бўлгандаёқ оқа бошлайди (3- эгри чизик) бироқ уларнинг қовушоқлик коэффициенти тезлик градиентининг ортиши билан камайиб боради. *Дилатант суюқликлар* (масалан, крахмал суспензияси, таркибида каттик жисм заррачалари кўп бўлган турли елимлар) да эса тезлик градиентининг ортиши билан қовушоқлик коэффициенти ортиб боради (4- эгри чизик).



4.3- расм. Оқиш эгри чизиклари. Суюқликлар:

1 — ньютон; 2 — бингам; 3 — мавҳум пластик; 4 — дилатант.

Мавхумпластик ва дилатант суюқликлар туюладиган қовушоқлик ( $\mu_3$ ) билан характерланади:

$$\mu_3 = \frac{\tau}{d\omega/dn} \quad (4.13)$$

Ноньютон суюқликлар қаторига тиксотроп ва реопектант суюқликлар ҳам киради. Тиксотроп суюқликларда (масалан, вақт давомида қовушоқлиги ортиб борадиган бўёқлар) маълум қийматдаги силжиш кучланишлигининг таъсир вақти ортиши муҳит таркибининг бузилишига ва оқиш тезлигининг кўпайишига олиб келиши мумкин. Реопектант суюқликларда эса вақт давомида силжиш кучланишлигининг таъсири ортиши билан муҳитнинг оқувчанлиги камаяди. Реопектант суюқликларга бентонит лойининг суспензияси ва айрим коллоид эритмалар мисол бўла олади.

Ноньютон суюқликларнинг оқишини ўрганиш *реология фани*нинг мазмунини ташкил этади. Бу фан ноньютон суюқликлар шаклининг ўзгариши ва оқиши тўғрисидаги фандир.

#### 4.6-§. СУЮҚЛИКНИНГ ТЕЗЛИГИ ВА САРФИ

Суюқ муҳитнинг ҳаракати ҳар бир заррачаларнинг тезлиги билан характерланади. Маълум вақт моментиди ҳар бир заррача ўзининг тезлиги ва йўналишига эга. Агар тезлик майдони вақт давомида ўзгармаса *турғун ҳаракат* деб аталади, мабодо тезлик майдони вақтга боғлиқ бўлса — у ҳолда ҳаракат *нотурғун* бўлади. Турғун ҳаракат учун  $\omega = f(x, y, z)$  нотурғун ҳаракат учун эса  $\omega = f(x, y, z, \tau)$ , бу ерда  $\omega$  — тезлик;  $x, y, z$  — координата ўқлари;  $\tau$  — вақт.

Трубада оқаётган суюқликнинг тезлиги трубанинг деворларига яқинлашган сари камаяди, чунки суюқлик ҳаракати ишқаланиш кучи туфайли секинлашади ва суюқлик заррачалари деворга ёпишиб, қўзғалмас бўлиб қолади. Суюқлик заррачалари трубанинг ўртасида максимал тезлик билан ҳаракатланади.

Суюқликнинг ҳақиқий тезлигини ўлчаш жуда қийин, чунки суюқлик заррачалари оқимнинг ҳар бир нуктасида алоҳида тезликка эга бўлади. Шунинг учун заррачаларнинг тезлиги ўртача катталиқ билан аниқланади. Ҳажмий сарф миқдорининг труба кўндаланг кесимига нисбати *ўртача тезлик* ( $\omega$ , м/с) дейилади:

$$\omega = \frac{V}{S},$$

бу ерда  $V$  — ҳажмий сарф миқдори, м<sup>3</sup>/с,  $S$  — трубанинг кўндаланг кесими, м<sup>2</sup>. Юқоридаги тенгликдан:

$$v = \omega \cdot S. \quad (4.14)$$

Бу тенглик *секундли сарф тенгламаси* дейилади.

Суюқликнинг массавий сарфи (м, кг/с) куйидагича аниқланади:

$$M = V\rho = \omega S\rho, \quad (4.15)$$

бу ерда  $\rho$  — суюқлик зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Ишлаб чиқаришдаги трубопроводларни ҳисоблашда суюқлик, газ ва буг оқимлари ўртача тезликларининг тахминий қийматларидан фойдаланилади (4.1- жадвал).

4.1- ж а д в а л . Оқим ўртача тезлигининг тахминий қиймати

Оқим тури	Ўртача тезлик $w, \text{ м/с}$
Табийй тортиш ҳолатидаги газлар	2—4
Вентиляция газоходи ва трубопроводдаги атмосфера босимидаги газ	5—20
Узи оқиб келадиган суюқлик	0,1—0,5
Босимли трубопроводлардаги суюқлик	0,5—2,5
Абсолют босим $P_{\text{абс}} \geq 4,9 \cdot 10^4$ Па бўлгандаги сув буги	15—40
Абсолют босим $P_{\text{абс}} = (1,96 \div 4,9) \cdot 10^4$ Па бўлгандаги сув буги	40—60

Кимё ва озик-овқат саноатининг барча корхоналарида суюқлик ва газларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш учун пневмометрик трубалар ва дроссель асбоблар ишлатилади. Очқ оқимда суюқликнинг тезлиги Пито найчаси билан ўлчанади. Ёпиқ трубаларда суюқлик оқимининг тезлигини аниқлаш учун Пито найчасидан ташқари  $U$ - симон пьезометрик дифференциал манометрлар (трубалар) ҳам ишлатилади.

Оқим тезлиги ва сарфини ўлчаш учун юкорида айтиб ўтилган усуллар содда ва қулайдир, лекин пневмометрик трубаларни оқимларнинг ўқиға нисбатан ўрнатиш жуда қийин. Шу сабабли саноатда оқим тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дроссель асбоблар ишлатилади. Уларнинг ишлаш принципи трубаларнинг кесими ўзгарганда, яъни трубанинг тор ва кенг кесимидаги динамик босимлар фарқининг ўзгаришини ўлчашга асосланган. Дроссель асбоблар сифатида ўлчовли диафрагма, сопло, Вентури трубалари ишлатилади.

#### 4.7- §. Оқимнинг узлуксизлиги

Оқимнинг узлуксизлик тенгламасини аниқлаш учун трубанинг узунлиги бўйича (4.4- расм) учта кесим оламиз (1—1, 2—2, 3—3). Кесимларнинг юзини  $S_1, S_2, S_3$  ва оқимнинг тезлигини  $w_1, w_2, w_3$  деб оламиз. Секундди сарф тенгламасига мувофик:

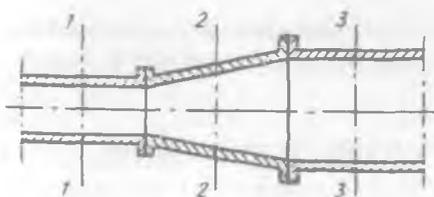
$$w_1 S_1 \rho_1 = w_2 S_2 \rho_2 = w_3 S_3 \rho_3 \quad (4.16)$$

ёки

$$M_1 = M_2 = M_3.$$

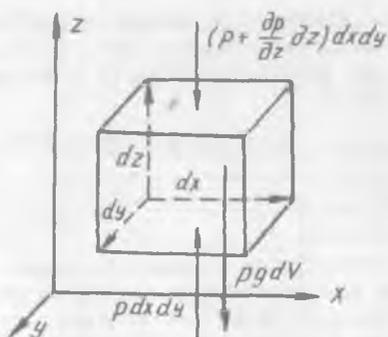
бу ерда  $M = S w \rho$  — суюқликнинг массавий сарфи, кг/с.

Трубадан оқаётган суюқлик бир хил ва унинг зичлиги вақт бирлигида труба узунлиги бўйича ўзгармайди ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = \rho =$



4.4-расм. Узлуксизлик тенгламасини аниқлаш.

4.5-расм. Ҳаракатдаги суюқликнинг Эйлер тенгламасини аниқлаш.



= const), шунинг учун вақтнинг исталган моментидан оқиб ўтаётган суюқликнинг миқдори бир хил бўлади:

$$\omega S = \text{const.} \quad (4.17)$$

Бу тенгликдан кўришиб турибдики, тезлик трубаaning кесим юзасига тескари пропорционалдир:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (4.18)$$

Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси *моддалар сақланиш қонуни*нинг хусусий кўриниши бўлиб, оқимнинг материал балансини ифодалайди. Баъзан оқимнинг узлуксизлиги бузилиши мумкин. Масалан, суюқликнинг қайнаши пайтида босимнинг бирдан пасайиши натижасида айрим вақтда насосларнинг ишлаши пайтида оқим узлуксизлиги шартлари бажарилмайди.

#### 4.8-§. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ ЭЙЛЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Бу тенгламани келтириб чиқариш учун тургун ҳаракат қилаётган идеал суюқлик оқимидан элементар кичик заррачага ҳаракат пайтида ва тинч ҳолатда таъсир қилаётган кучларнинг тақсимланишини кўриб чиқамиз (4.5-расм).

Элементар заррача параллелепипед шаклига эга. Параллелепипеднинг қирралари  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  га тенг бўлиб,  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларига параллел. Унинг ҳамжи  $dV$ . Эйлернинг мувозанат тенгламасига мувофиқ огирлик ва гидростатик кучларнинг координаталар ўқиға проекцияси қуйидагича:

$$\begin{aligned} x \text{ ўқиға} & - \frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz, \\ y \text{ ўқиға} & - \frac{\partial P}{\partial y} dx dy dz, \\ z \text{ ўқиға} & - \left( \rho g + \frac{\partial P}{\partial z} \right) dx dy dz. \end{aligned}$$

Динамиканинг асосий қондасига мувофиқ ҳаракатдаги суюқликнинг элементар ҳажмига таъсир қилаётган кучлар проекцияси суюқлик массасининг эркин тушиш тезланишига кўпайтирилганига тенг. Параллелепипед ҳажмидаги суюқлик массаси:

$$dm = \rho dx dy dz$$

Суюқлик  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларда  $w_x$ ,  $w_y$  ва  $w_z$  тезлик билан ҳаракатланса, унинг тезланиши  $dw/dt$  га тенг бўлиб, ўқларга нисбатан тезланишнинг проекцияси эса  $dw_x/dt$ ,  $dw_y/dt$  ва  $dw_z/dt$  бўлади. Бу ҳолда тезликнинг вақт бирлиги ичида ўзгариши фазода олинган нукта тезлигининг ўзгаришини эмас, балки суюқлик заррачасининг фазода бир нуктадан иккинчи нуктага ўтганда  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқларга тўғри келадиган тезлик миқдори  $w_x$ ,  $w_y$  ва  $w_z$  нинг ўзгаришини кўрсатади. Ҳаракат тургун бўлгани учун  $x$ ,  $y$  ва  $z$  ўқлардаги ҳар бир нукта учун вақт бирлигида тезликнинг ўзгариши нолга тенг. Динамиканинг асосий қонунига асосан:

$$\left. \begin{aligned} \rho dx dy dz \frac{dw_x}{dt} &= - \frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz, \\ \rho dx dy dz \frac{dw_y}{dt} &= - \frac{\partial P}{\partial y} dx dy dz, \\ \rho dx dy dz \frac{dw_z}{dt} &= - \left( \rho g + \frac{\partial P}{\partial z} \right) dx dy dz \end{aligned} \right\}$$

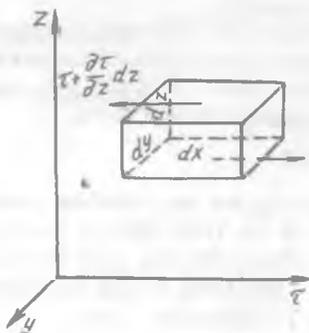
Қисқартиришлардан сўнг қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{dt} &= - \frac{\partial P}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{dt} &= - \frac{\partial P}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{dt} &= - \rho g - \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Бу тенгламалар тургун оқимлар учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгламасидир. Бу тенгламалар системасини интеграллаш натижасида Бернулли тенгламасини келтириб чиқариш мумкин.

#### 4.9-§. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ НАВЬЕ-СТОКС ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Қовушоқликка эга ҳақиқий суюқликлар ҳаракатида оқим заррачаларига оғирлик ва гидростатик кучлардан ташқари ишқаланиш кучлари таъсирини аниқлаш учун ҳаракат қилаётган ҳақиқий суюқлик оқимида кичик параллелепипед шаклидаги элементар заррача оламиз (4.6- расм). Суюқликнинг  $x$  ўқи бўйича



4.6- расм. Навье-Стокс тенгламасини аниқлаш.

харакатланишини қўрамиз. Бундай шароитда ишқаланиш кучлари элементар параллелепипеднинг юқориги ва пастки қирра юзлари  $dF$  га кучланиш уринмаси сифатида таъсир этади ( $dF = dx dy$ ). Агар параллелепипеднинг пастки қиррасида кучланиш уринмаси  $\tau$  га тенг бўлса, юқориги қиррада эса  $(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz)$  ни ташкил этади.  $\frac{\partial \tau}{\partial z}$  ҳосиласи параллелепипеднинг пастки қиррасида жойлашган нуқталардаги кучланиш уринмасининг  $z$  ўқи бўйича ўзгаришини ифодалайди.  $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$  эса ушбу куч-

ланишни параллелепипед қиррасининг бутун узунлиги  $dz$  бўйлаб ўзгаришини билдиради.

Тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг  $x$  ўққа проекцияси:

$$\tau dx dy - (\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz) dx dy = - \frac{\partial \tau}{\partial z} dx dy dz$$

Ушбу ифодага  $\tau$  нинг (4.11 а) даги қийматини қўйиб, қуйидагига эга бўламиз:

$$\mu \frac{\partial \left( \frac{\partial \omega_x}{\partial z} \right)}{\partial z} dx dy dz = \mu \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2} dx dy dz.$$

Умуман олганда уч ўлчамли оқим учун  $\omega_x$  тезликнинг таркиби фақат  $z$  ўқи йўналиши бўйичагина эмас, балки координатанинг барча ўқлари бўйича ўзгаради. Бундай шароитда тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучининг  $x$  ўқида бўлган проекцияси қуйидаги кўринишни олади:

$$\mu \left( \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial x^2} \right) dx dy dz.$$

Координата ўқлари бўйича иккинчи ҳосилаларнинг йиғиндиси *Лаплас оператори* деб аталади:

$$\frac{\partial^2 \omega_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega_x}{\partial z^2} = \nabla^2 \omega_x$$

Натижада тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг  $x$  ўқида бўлган проекциясини қуйидагича кўрсатиш мумкин:

$$\mu \nabla^2 \omega_x dx dy dz$$

Ўз навбатида тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг  $y$  ва  $z$  ўқларига бўлган проекцияларини ёзамиз:

$$\begin{aligned} y \text{ ўкига } & \mu \nabla^2 w_y dx dy dz, \\ z \text{ ўкига } & \mu \nabla^2 w_z dx dy dz. \end{aligned}$$

Томчили суюкликнинг элементар ҳажмига таъсир қилувчи ҳамма кучлар (огирлик, босим ва ишқаланиш) тенг таъсир этувчиларининг координата ўқларига проекциялари:

$$\begin{aligned} x \text{ ўкига } & \left( -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \right) dx dy dz, \\ y \text{ ўкига } & \left( -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \right) dx dy dz, \\ z \text{ ўкига } & \left( -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \right) dx dy dz. \end{aligned}$$

Координата ўқлари бўйича олинган кучлар проекцияларининг йигиндиси динамиканинг асосий принципларига асосан, элементар ҳажмидаги суюклик массаси ( $\rho dx dy dz$ ) ни координата ўқларига туширилган тезланиш проекциялари кўпайтмасига тенг бўлиши керак. Шу сабабдан, тенг таъсир этувчи куч проекциясини массанинг тезланиш проекциясига кўпайтмасига тенглаб, сўнгра  $dx dy dz$  га қисқартириб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

(4.20) тенгламалар ҳақиқий суюкликлар ҳаракатини ифодалайдиган *Навье-Стокс дифференциал тенгламаларини* ташкил этади.

Бу тенгламалар тизими трубадан оқаётган ҳақиқий суюкликнинг тургун ҳаракатини ифодалайди. Тенгламаларни кўпчилик ҳолларда ечиш мумкин эмас. Шунинг учун бу дифференциал тенгламалардан ўхшашлик назарияси асосида бир қатор ўхшашлик мезонлари келтириб чиқарилади. Чиқарилган мезонлардан жараёнларни ҳисоблашда фойдаланилади.

#### 4.10-§. ОКИМНИНГ МАТЕРИАЛ ВА ЭНЕРГЕТИК БАЛАНСЛАРИ

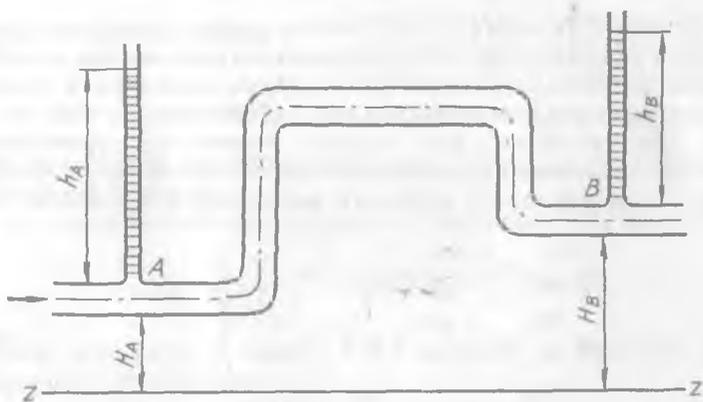
**Материал баланси.** Суюкликнинг тургун оқимларида материал баланси сарф тенгламалари (4.14), (4.15) билан, ўзгарувчан кесимли трубопроводлар учун эса оқимнинг узлуксизлиги тенгламаси (4.16) ёрдамида аниқланади.

**Энергетик баланси.** Оқимнинг энергетик баланси Бернулли тенгламаси билан ифодаланади. Суюклик ва газларнинг ҳаракати

пайтидаги энергиянинг сақланиш қонунига асосан изотермик оқимнинг тула энергияси ( $E$ ) кинетик ва потенциал энергиялар ( $E_k$  ва  $E_p$ ) нинг йигиндисига тенг:

$$E = E_k + E_p. \quad (4.21)$$

Оқимнинг энергетик балансини тузиш учун 4.7-расмда кўрсатилган трубопровод чизмасини кўриб чиқамиз. Чизмада:  $h_A$  ва  $h_B$ — пьезометрлар кўрсатаётган суюқлик сатҳининг баландлиги;  $H_A$  ва  $H_B$ — суюқликнинг горизонтал юзага нисбатан сатҳи (туғри горизонтал трубопроводлар учун  $H_A=H_B$ ). Трубадаги ортиқча босим пьезометр ёрдамида аниқланади (расмда кўрсатилган). Пьезометрнинг трубкаси трубопроводнинг ўқи бўйича жойлаштирилади.



4.7-расм. Бернулли тенгламасини аниқлаш.

Трубопроводнинг  $A$  кесими учун кинетик ва потенциал энергиясини оқимнинг параметрлари орқали ифодалаймиз:

$$E_k = \frac{m w_A^2}{2}; \quad E_p = G H_A + G h_A,$$

бу ерда  $G = mg$  — оқимнинг оғирлиги,  $H$ .

$A$  ва  $B$  кесимлари учун  $G = 1H$  бўлганда энергиянинг запаслари:

$$\frac{w_A^2}{2g} + H_A + h_A; \quad (4.22) \quad \frac{w_B^2}{2g} + H_B + h_B. \quad (4.23)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра идеал сиқилмайдиган изотермик суюқлик оқими учун:

$$\frac{w_A^2}{2g} + H_A + h_A = \frac{w_B^2}{2g} + H_B + h_B = \text{const}. \quad (4.24)$$

Ушбу ифода идеал суюқликларнинг турғун оқими учун Бернулли тенгламасини билдиради. (4.24) тенгламани қуйидагича таърифлаш мумкин: қовушоқлиги бўлмаган суюқликларнинг турғун ҳаракати учун трубопроводнинг ихтиёрий кесимида кинетик ва потенциал энергияларнинг умумий йиғиндиси ўзгармас қийматга эга.

Бернулли тенгламасининг қуйидаги кўринишда ёзилиши кенг ишлатилади:

$$\frac{w^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z = \text{const} \quad (4.25)$$

(4.25) тенгламанинг чап томонидаги катталиқлар йиғиндиси  $\left(z + \frac{P}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$  гидродинамик босим деб аталади. Бернулли тенгламасига асосан идеал суюқлик турғун оқимининг ихтиёрий кўндаланг кесимидаги гидродинамик босимнинг қиймати ўзгармас бўлади.

Гидродинамик босим уч қисмдан иборат:  $z$  — геометрик босим (ёки нивелир баландлик);  $\frac{P}{\rho g}$  — статик (пъезометрик) босим;

$\frac{w^2}{2g}$  — тезлик (динамик) босими. Агар геометрик босим берилган нуктадаги суюқлик ҳолатининг солиштирма потенциал энергиясини ифодаласа, статик босим эса босим кучининг солиштирма потенциал энергиясини белгилайди. Тезлик босими солиштирма кинетик энергияни ташкил этади.

Агар  $z$  ни  $h_r$ ,  $\frac{P}{\rho g}$  ни  $h_c$  ва  $\frac{w^2}{2g}$  ни эса  $h_g$  билан белгиласак, унда:

$$h_r + h_c + h_g = H. \quad (4.26)$$

Бернулли тенгламасига биноан, идеал суюқликларнинг турғун ҳаракатида геометрик, статик ва динамик босимлар йиғиндиси умумий гидродинамик босимга тенг бўлиб, у оқим бир трубадан иккинчи трубага ўтганида ҳам ўзгармайди:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g}. \quad (4.27)$$

Тенгламадаги учала босим ҳам узунлик ўлчамига эга бўлиб, метр ҳисобида ифодаланади. Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий кўриниши бўлиб, оқимнинг энергетик балансини белгилайди.

Ҳақиқий суюқликларда ички ишқаланиш кучи мавжуд бўлгани сабабли, суюқлик трубаларда оқётганда бир қисм босим бу кучни енгиши учун сарф бўлади. Бундай шароитда Бернулли тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_u \quad (4.28)$$

ёки

$$h_r + h_c + h_g + h_u = H, \quad (4.29)$$

бу ерда  $h_u$  — ишқаланиш кучини енгиш учун сарфланган босим.

Суюқлик горизонтал трубада ҳаракат қилса, бунда геометрик босим нолга тенг бўлади:

$$h_r = 0 \quad \text{ва} \quad h_c + h_g + h_u = H. \quad (4.30)$$

Бернулли тенгламасидан фойдаланиб, умумий гидродинамик босим, суюқликларнинг тезлиги, сарф миқдорини ва резервуарлардан оқиб ўтиш вақти аниқланади.

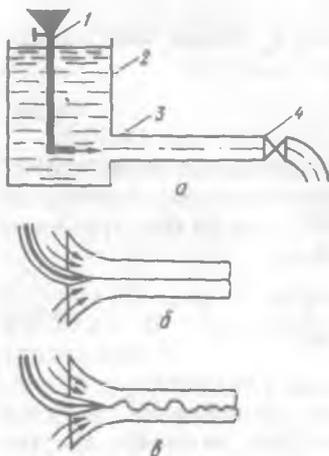
#### 4.11-§. ҲАҚИҚИЙ СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҲАРАКАТ РЕЖИМЛАРИ

Трубалар бўйлаб ҳаракатланаётган суюқлик оқими таркибининг ўзгаришини Гаген, Пуазейль, Рейнольдс ва бошқа олимлар ўрганишган. Айниқса Рейнольдснинг олиб борган ишлари яхши натижа берди. У 1883 йили трубалардаги оқим таркиби ўзгаришининг сабабини аниқлади.

Рейнольдс рангли эритмалар ёрдамида суюқликнинг икки хил — **ламинар** ва **турбулент** режимда бўлишини аниқлади. Тажриба қурилмаси 4.8- расмда қўрсатилган. Резервуарда сувнинг сатҳи бир хил ушлаб турилади. Унга горизонтал шиша труба бириктирилган. Шиша трубадаги оқим ҳаракатини кузатиш учун унинг ўқи бўйлаб рангли суюқлик юбориладиган найча ўрнатилган. Сувнинг трубадаги тезлиги кран орқали ростланади.

Сув оқимининг тезлиги кичик бўлганда рангли суюқлик сувга аралашмасдан тўғри чиқиб бўйлаб горизонтал ип шаклида ҳаракат қилади. Чунки кичик тезликда сувнинг заррачалари бир-бирига аралашмасдан, параллел ҳолда тартибли ҳаракат қилади (4.8- расм, б). Бундай ҳаракат **ламинар режим** деб юритилади.

Трубадаги сув оқими тезлиги кескин кўпайтирилса, рангли эритма труба бўйлаб тўлқинсимон ҳаракат қилиб, сувнинг бутун массасига аралашиб кетади (4.8- расм, в). Бу вақтда сув заррачалари ҳам бири-бири билан аралашиб, тартибсиз тўлқинсимон ҳаракат қилади. Бундай оқим **турбулент ёки уярма режим** дейилади.



4.8- расм. Рейнольдс тажрибаси:

а) қурилма чизмаси; 1 — рангли суюқлик юбориладиган найча; 2 — суюқлик тўлдирилган идиш; 3 — суюқлик оқадиган труба; 4 — суюқлик ҳаракатини ростлаб турувчи кран; б) трубадаги суюқликнинг ламинар ҳаракати; в) трубадаги суюқликнинг турбулент ҳаракати.

Рейнольдс ўз тажрибаларида фақат тезликни эмас, балки трубанинг диаметри, суюқликнинг қовушоқлиги ва зичлигини ўзгартирди. Бу ўзгарувчан катталиклар асосида Рейнольдс ўлчамсиз комплекс келтириб чиқарди, яъни:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{\omega d}{\nu} \quad (4.31)$$

бу ерда  $\omega$  — оқимнинг ўртача тезлиги, м/с;  $d$  — оқимнинг аниқловчи чизиқли ўлчами (думалоқ кесимли трубопровод учун унинг диаметри), м;  $\rho$  — суюқликнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — қовушоқликнинг динамик коэффиценти, Па·с;  $\nu$  — қовушоқликнинг кинематик коэффиценти, м<sup>2</sup>/с.

Ушбу ўлчамсиз комплекс *Рейнольдс мезони* дейилади.

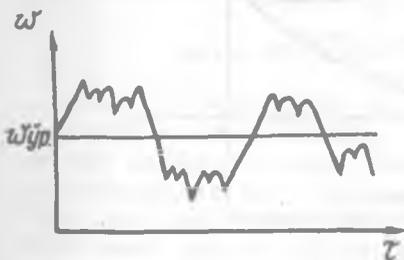
Рейнольдс мезони ҳаракат режимини аниқлаш билан бирга оқим ҳаракатидаги қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини ҳам аниқлайди. Суюқликларнинг ҳаракат режими Рейнольдс мезонининг критик қиймати  $Re_{кр}$  билан аниқланади.

Тўғри ва текис юзали трубалардаги суюқлик оқими учун  $Re_{кр} = 2300$  га тенг. Агар  $Re_{кр} < 2300$  бўлса, ламинар режим бўлади,  $Re > 2300$  бўлса, тўлқинсимон ҳаракат (турбулент режим) бўлади.  $Re > 10\,000$  бўлганда турғун турбулент режим бўлади,  $Re = 2300 - 10\,000$  чегарада ўзгарса ўтиш соҳаси бўлиб, бунда бир вақтнинг ўзида трубада икки хил ҳаракат мавжуд бўлади, яъни труба ўртасида суюқлик турбулент, девор яқинида ламинар ҳаракатда бўлади.

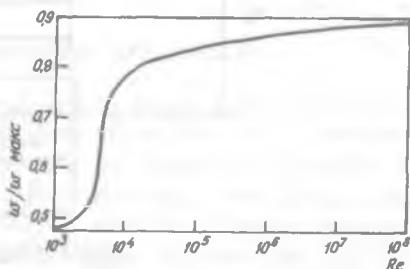
Суюқликлар ҳаракатини думалоқ кесим юзали трубалардан ташқари ҳар хил каналларда аниқлаш учун  $Re$  мезонидаги диаметр ўрнига эквивалент диаметр катталиги ишлатилади. У ҳолда

$$Re = \frac{\omega d_s \rho}{\mu}; \quad d_s = \frac{4S}{\Pi} \quad (4.32)$$

бу ерда  $S$  — суюқлик оқимининг кесим юзаси, м<sup>2</sup>;  $\Pi$  — ҳўлланган периметр, м.



4.9-расм. Оқим тезликларининг пульсацияси ( $\omega_{ср} = \omega \pm \Delta\omega$ ).



4.10-расм.  $\omega / \omega_{макс}$  нинг Рейнольдс мезонига боғлиқлиги.

Диаметри  $d$  га тенг бўлган думалоқ кесим юзали труба учун  $d_3 = d$ . Агар каналнинг кесим юзаси томонлари  $a$  ва  $b$  га тенг бўлган тўртбурчаклик бўлса, у ҳолда:

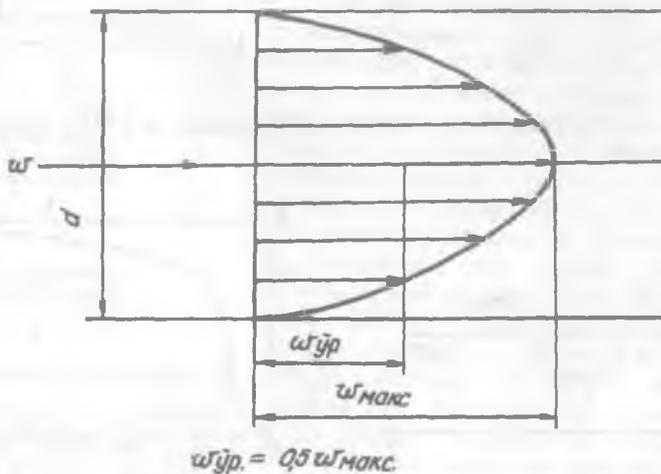
$$d_4 = \frac{4S}{\pi} = \frac{4ab}{2a+2b} = \frac{2ab}{a+b} \quad (4.33)$$

Рейнольдс мезонининг критик қиймати бир қатор шарт-шароитларга боғлиқ бўлади (суюқликнинг трубага қандай йўл билан кириши, труба деворларининг гадир-будирлиги, унинг шакли ва ҳоказо). Турғун турбулент ҳаракат  $Re \geq 10^4$  бўлганда юз берса ҳам, хоҳлаган шаклдаги оқимларда ламинар режимдан турбулент режимга аста-секин ўтилади.

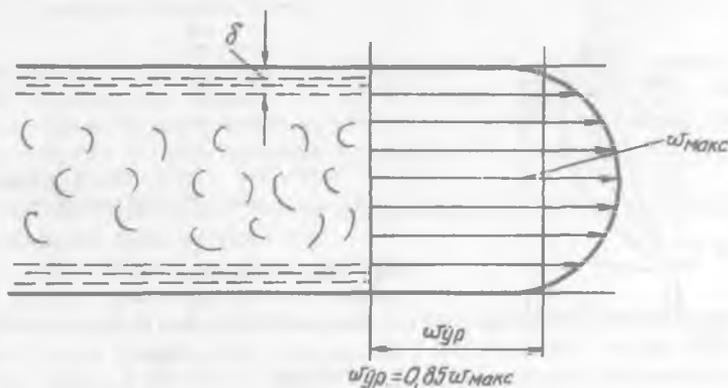
Оқимнинг турбулентлик даражаси пульсация тезлигининг (яъни пульсацияларнинг) жадаллиги билан белгиланади. Пульсациянинг жадаллиги ҳақиқий оний тезликнинг ўртача тезликка нисбатан вақт давомида ўзгариши билан ифодаланади (4.9- расм). Ушбу тезлик ўзгаришини координата ўқлари йўналиши бўйича тақсимлаш мумкин:

$$\omega_x, \Delta\omega_y \text{ ва } \Delta\omega_z.$$

Турбулентлик икки хил: *изотроп* ва *анизотроп* бўлади. Изотроп турбулентликда тезлик пульсацияларининг ҳамма йўналишлар бўйича ўзгаришлари ( $\Delta\omega_x, \Delta\omega_y, \Delta\omega_z$ ) бир хил мусбат ва манфий сон қийматга эга бўлиши эҳтимолга яқин. Анизотроп турбулентликда эса тезлик пульсацияларининг ҳамма йўналишлар бўйича ўзгаришлари турлича ва уларнинг сон жихатдан бир хил бўлишлиги эҳтимолдан узоқ.



4.11- расм. Трубадаги суюқликнинг ламинар ҳаракати пайтида тезлиكنинг тақсимланиши.



4.12- расм. Трубадаги суюқликнинг турбулент ҳаракати пайтида тезликнинг тақсимланиши.

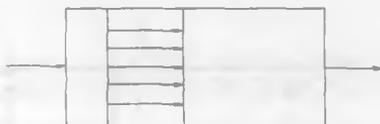
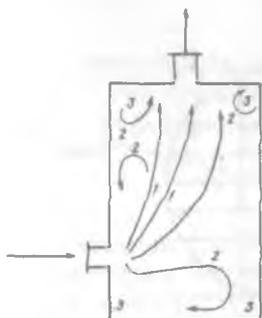
Оқимдаги ўртача ва энг юқори тезликларнинг нисбати суюқликнинг ҳаракат режимига (яъни Рейнольдс мезонининг сон қиймати) боғлиқлиги тажриба йўли билан исботланган.  $Re$  нинг маълум қиймати бўйича Никурадзе графиги (4.10- расм) ёрдамида  $\omega_{ур} / \omega_{макс}$  аниқланади, сўнгра трубопроводнинг ўқи бўйича оқимнинг максимал тезлиги  $\omega_{макс}$  ўлчаниб, оқимнинг ўртача тезлиги  $\omega_{ур}$  ҳисобланади. Ўртача тезлик қиймати трубадан ўтаётган суюқлик сарфини топишда ишлатилади.

Ламинар режимда ( $Re < 2300$ ) тўғри ва думалок трубанинг ўқидаги энг юқори тезлик ўртача тезликка нисбатан икки марта катта бўлади, яъни  $\omega_{ур} = 0,5 \omega_{макс}$  (4.11- расм). Бундай режимда суюқлик заррачалари бир-бирига аралашмасдан, параллел ҳолатда ҳаракат қилади. Трубанинг ўқи бўйича олинган кесимда тезлик ўзгаришининг кўриниши парабола шаклига эга.

Турбулент режимда ( $Re \geq 10^4$ )  $\omega_{ур} = (0,8 \div 0,9) \omega_{макс}$  (4.12- расм). Турбулент режимда суюқлик заррачаларининг тартибли ҳаракати бузилади, айрим заррачаларнинг тезлиги доимий бўлмасдан, унинг қиймати ва йўналиши маълум бир ўртача қиймат атрофида ўзгариб туради.

#### 4.12- §. СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ТУЗИЛИШИ

2- бобдан маълумки, асосий жараёнларни ҳисоблаш, моделлаштириш ва оптималлаш пайтида қурилмадаги гидродинамик шароит инобатга олинади. Кимёвий технологияда ишлатилаётган қурилмаларнинг жуда мураккаблиги натижасида материал оқимлари ҳаракат тезлигининг қурилма ҳажми бўйича нотекис тарқалиши мумкин. Айрим заррачаларнинг қурилмада ҳар хил вақт давомида бўлиши олиб борилаётган жараённинг самарадорлигига таъсир қилади. Масалан, ичи бўш қурилмани олиб



4.14- расм. Идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг чизмаси.

4.13- расм. Ичи буш қурилмадаги оқимлар чизмаси:

1,2 — ҳаракат траекториялари;  
3 — ҳаракатсизлик соҳаси.

кўрамиз (4.13- расм): 1- кўрсаткичлар билан белгиланган траекториялар бўйича ҳаракатланаётган заррачаларнинг қурилмада бўлиш вақти, 2- йўналиш билан ҳаракат қилаётган ёки ҳаракатсиз зоналар (3) га тушиб қолган заррачаларнинг қурилмада бўлиш вақтидан анчагина камроқ бўлади.

Сууюқликнинг ламинар ҳаракатида ҳам ана шундай ҳодиса юз беради. Бундай режимда трубаинг ўқи бўйича олинган ва унинг ички девори яқинидаги тезлик бир-биридан анча фарқ қилади ( $\omega_{\text{ур}} = 0,5\omega_{\text{макс}}$ ). Трубаинг ўқи атрофида ҳаракатланаётган заррачалар унинг девори яқинида ҳаракатланаётган заррачаларга нисбатан трубада анча кам вақт бўлади.

Турбулент режимда трубаинг кесими бўйича тезлик нисбатан бир текисда тарқалган:  $\omega_{\text{ур}} \pm (0,8 \div 0,9) \omega_{\text{макс}}$ . Аммо турбулент пульсациялар таъсирида заррачаларнинг трубада бўлиш вақти турличадир. Турбулент режимда заррачаларнинг жадал аралашishi натижасида турбулент диффузия пайдо бўлади. Бунда заррачалар оқимнинг асосий массаси ҳаракатига нисбатан турли йўналишлар бўйича ҳаракат қилади, жумладан кўндаланг кесим йўналиши бўйича (радиал диффузия), трубаинг узунлиги бўйича (ўқ диффузияси). Ўқ диффузиясининг йўналиши оқимнинг асосий массаси йўналишига тўғри ёки тескари йўналишда бўлиши мумкин. Ўқ диффузиясининг йўналиши оқимнинг асосий массаси йўналишига қарама-қарши бўлганда тескари аралаштириш деб юритилади.

Кўпчилик саноат қурилмаларида тезликнинг тақсимланиши юқорида кўриб чиқилган мисолларга нисбатан анча мураккаб бўлади. Қурилмалардаги тезлик майдони ҳақида маълумот олиш учун қурилмага кираётган оқимга индикатор қўшилади ва қурилмадан чиқаётган оқимлар таркибидаги индикатор микдорининг вақт давомида ўзгаришига қараб, айрим заррачаларнинг қурилмада бўлиш вақти аниқланади. Индикатор сифатида бўёқ, туз эритмаси, радиоактив препарат ва бошқа моддалар ишлатилади. Индикаторнинг қурилмадан чиқаётган сууюқлик таркибидаги

микдорининг вақт давомида ўзгариши боғлиқлиги чиқиш ёки жавоб бериш эгри чизиқлари деб аталади. Тажриба йўли билан олинган ушбу эгри чизиқларни типавий моделлар билан биргаликда таҳлил қилиш орқали қурилмадаги оқимнинг тузилиши аниқланади.

Суюқлик оқимининг тузилишини аниқлаш учун икки хил физик моделлардан фойдаланилади:

- 1) идеал сиқиб чиқариш модели;
- 2) идеал араштириш модели.

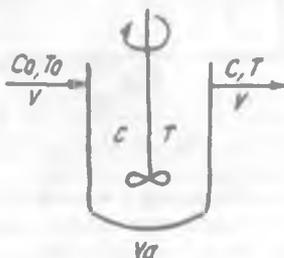
**Идеаль сиқиб чиқариш модели.** Қурилманинг ичидаги суюқлик заррачалари ўзаро параллел ва бир хил тезлик билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда заррачалар оқимнинг асосий массасидан ўтиб ҳам кетмайди, орқада ҳам қолмайди. Оқим худди қаттиқ поршенга ўхшаб ҳаракат қилади. Поршенли ҳаракатга эга бўлган қурилмаларни *идеал* (ёки тўла) *сиқиб чиқариш қурилмалари* деб аталади (4.14- расм). Ҳамма заррачаларнинг бундай қурилмада бўлиш вақти бир хил бўлиб, ўртача бўлиш вақти  $\tau_{yp}$  га тенг бўлади:

$$\tau_{yp} = \frac{l}{\omega} = \frac{l \cdot S}{\omega \cdot S} = \frac{Va}{V}, \quad (4.34)$$

бу ерда  $l$  — заррачанинг йўли, м;  $\omega$  — суюқлик тезлиги, м/с;  $S$  — кўндаланг кесими юзаси, м<sup>2</sup>;  $Va$  — қурилма ҳажми м<sup>3</sup>,  $V$  — суюқликнинг ҳажми сарфи, м<sup>3</sup>/с.



4.15- расм. Идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг жавоб бериш эгри чизиги.



4.16- расм. Идеал аралаштириш қурилмасининг чизмаси.

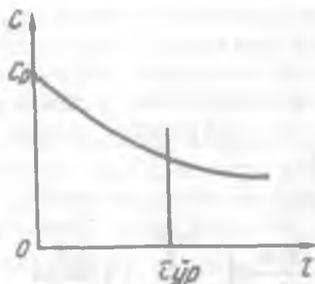
4.15- расмда идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг жавоб бериш эгри чизиги кўрсатилган. Қурилмага кираётган оқимга индикатор қўшилган моментдан бошлаб ( $\tau=0$ ), то  $\tau=\tau_{yp}$  бўлгунча қурилмадан чиқаётган оқимнинг таркибида индикатор бўлмайди.  $\tau=\tau_{yp}$  моментда индикаторнинг оқим таркибидаги концентрацияси  $C$  бирдан кўпайиб кетади, сўнгра бирданига нолгача пасаяди.

Баландлигининг диаметрига нисбати анча катта бўлган колоннали қурилмалар идеал сиқиб чиқариш қурилмаларига мисол бўлади.

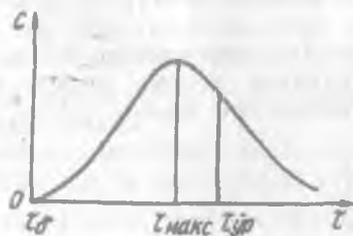
**Идеал аралаштириш модели.** Ушбу моделга кўра, қурилмага кираётган заррачаларнинг қурилмада мавжуд бўлган заррачалар билан бир онда тўла аралашishi рўй беради (4.16- расм). Агар қурилмага узлуксиз кираётган оқимга маълум миқдорда бўёқ  $M_o$  қўшилса, у ҳолда ушбу индикатор қурилмадаги ҳамма суюқликни тўлиқ бўяйди. Қурилманинг ихтиёрий нуқтасидаги индикаторнинг концентрацияси  $C_o$  ушбу моментда қуйидаги нисбат орқали топилади:

$$C_o = \frac{M_o}{V_a} \quad (4.35)$$

Бир оздан сўнг бўёқнинг концентрацияси  $C_o$  камая боради, чунки бўёқ моддаси қурилмадан узлуксиз чиқаётган оқим билан чиқиб кетади. 4.17- расмдан кўриниб турибдики, индикаторнинг катта қисми  $\tau_o$  билан  $\tau_{up}$  оралиғида қурилмадан чиқиб кетади. Индикаторнинг қолган қисмини қурилмадан тўла чиқариш учун назарий жиҳатдан олганда чексиз вақт талаб қилинади ( $\tau \rightarrow \infty$ ).



4.17- расм. Идеал аралаштириш қурилмасининг жавоб бериш эгри чизиги.



4.18- расм. Оралиқ гидродинамик моделнинг жавоб бериш эгри чизиги.

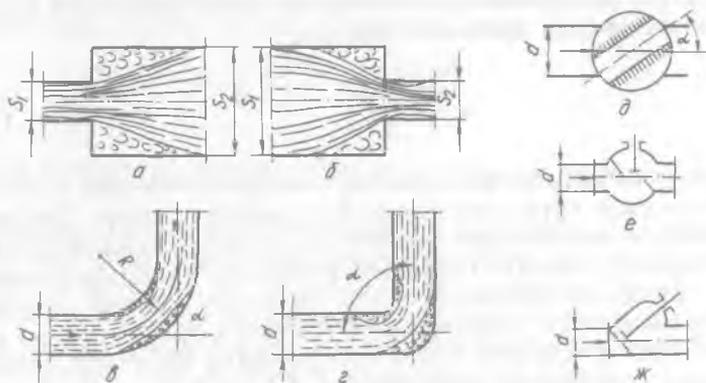
Идеал аралаштирувчи қурилмаларга ишлаш принципи бўйича жадал ишлайдиган аралаштиргичи бўлган идиш ва мавҳум қайнаш қатламли қурилма мисол бўла олади.

Кўпчилик узлуксиз режимда ишлайдиган қурилмалар ҳеч қайси моделнинг талабига жавоб бермайди. Оқимларнинг тузилишига кўра, бундай қурилмаларни *оралиқ турдаги қурилмалар* деб айтиш мумкин. 4.18- расмда оралиқ гидродинамик модели қурилманинг жавоб бериш эгри чизиги кўрсатилган. Қурилмага кираётган оқимга қўшилган индикатор  $\tau_o$  чиқаётган оқимда бироз вақт  $\tau_o$  ўтгандан сўнг пайдо бўлади. Индикаторнинг қурилмадан чиқаётган оқимдаги концентрацияси дастлаб ортиб боради ( $\tau$  макс га етгунча), кейинчалик ( $\tau \rightarrow \infty$ ) камайиб нолга интилади. Қурилмага  $\tau=0$  моментда кирган заррача вақтнинг  $\tau=0$  дан  $\tau = \infty$  гача оралиғида қурилмадан чиқиши эҳтимолга яқин.

Суюқлик оқимининг тузилиши дифференциал тенгламалар ёрдамида тўла ифодаланади. Дифференциал тенгламаларнинг коэффициентлари *моделларнинг параметрлари* дейилади. Ушбу номаълум параметрлар моделларнинг тенгламаларини тажриба йўли билан олинган жавоб бериш эгри чизикларини биргаликда солиштириш орқали аниқланади.

#### 4.13-§. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИКЛАР

Ҳақиқий суюқликлар трубадан ёки каналлардан оқаётганда босимнинг бир қисми ички ишқаланиш кучини енгил учун ҳаракат йўналишини ўзгартирганда ва оқим тезлиги ўзгарганда йўқолади. Демак, босимнинг йўқолиши ички ишқаланиш қаршилигини ва маҳаллий қаршиликни енгил учун сарф бўлади.



4.19-расм. Маҳаллий қаршиликлар:

а — трубанинг бирдан кенгайиши; б — трубанинг бирдан торайиши; в — трубанинг текис бурчак остида тўғри бурилиши; г — тўғри бурчак остида трубанинг бирдан бурилиши; д — тикили кран; е — стандарт вентиль; ж — тўғри вентиль (эгилган шпиндель билан).

Гидравлик қаршиликларни ҳисоблаш катта амалий аҳамиятга эга. Йўқотилган босимни билмасдан насос ва компрессорлар ёрдамида суюқлик ва газларни узатиш учун керак бўлган энергия сарфини ҳисоблаш қийин. Трубадан суюқлик оқаётганда ички ишқаланиш кучи трубанинг бутун узунлиги бўйича мавжуд бўлади. Унинг катталиги суюқликнинг оқиш режимига (ламинар, турбулент) боғлиқ. Суюқлик оқимининг ҳаракат йўналиши ва тезлиги ўзгарганда у маҳаллий қаршиликларга дуч келади. Трубадаги вентиллар, тирсак, жўмрак, торайган ҳамда кенгайган қисмлар ва ҳар хил тўсиқлар *маҳаллий қаршилик* дейилади (4.19- расм). Труба ва каналларда ички ишқаланиш ва маҳаллий қаршилик учун йўқотилган босим *Дарси-Вейсбах тенгламаси* орқали аниқланади:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} \quad (4.36)$$

бу ерда  $\lambda$  — ички ишқаланиш коэффициентини;  $l$  — труба узунлиги, м;  $\omega$  — оқимнинг ўртача тезлиги, м / с;  $d_e$  — трубанинг эквивалент диаметри, м;  $\rho$  — суюқликнинг зичлиги, кг / м<sup>3</sup>.

Тўғри ва силлиқ трубаларда суюқлик оқими ламинар ҳаракатда бўлса, ишқаланиш коэффициентини трубанинг гадир-будурлигига боғлиқ бўлмайди ва қуйидаги тенглик орқали аниқланади:

$$\lambda = \frac{A}{Re} \quad (4.37)$$

бу ерда  $A$  — труба шаклини ҳисобга олувчи коэффициент: думалок трубалар учун  $A=64$ , квадрат шаклдаги каналлар учун  $A=57$ ;  $Re$  — Рейнольдс мезони.

Гидравлик жиҳатдан силлиқ трубалар учун  $Re$  нинг қиймати  $4 \cdot 10^3$  дан  $10^4$  гача бўлганда ишқаланиш коэффициентини *Блазиус тенгламаси* орқали аниқлаш мумкин:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{1/4}} \quad (4.38)$$

Турбулент оқимда ишқаланиш коэффициентининг катталиги режимга ҳамда трубанинг гадир-будурлигига боғлиқ. Трубанинг гадир-будурлиги абсолют геометрик ва нисбий гадир-будурлик билан характерланади. Труба деворларидаги гадир-будурликлар ўртача баландликларнинг труба узунлиги бўйича ўлчаниши *абсолют геометрик гадир-будурлик* дейилади.

Труба деворларидаги гадир-будурликлар баландлигининг ( $\Delta$ ) трубанинг эквивалент диаметрига ( $d_s$ ) нисбати *нисбий гадир-будурлик* дейилади ва  $\epsilon$  билан ифодаланади:

$$\epsilon = \frac{\Delta}{d_s} \quad (4.39)$$

Турбулент режим учун ишқаланиш коэффициентини  $\lambda$  ни топишда қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[ \frac{\epsilon}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (4.40)$$

Маҳаллий қаршилиқлардаги босимнинг йўқотилиши қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$\Delta P_{\text{мк}} = \sum \xi_{\text{мк}} \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (4.41)$$

бу ерда  $\xi_{\text{мк}}$  — маҳаллий қаршилиқ коэффициентини (4.2- жадвалга қаранг) унинг қиймати тажриба йўли билан аниқланади.

4.2- ж а д в а л. Маҳаллий қаршилик коэффициентлари

Маҳаллий қаршилик турлари	Маҳаллий қаршилик коэффициенти-нинг қийматлари,
Трубага кириш	0,5
Трубадан чиқиш	1,0
Кран тўла очик бўлганда	0,2
Тирсак учун	1,1
Нормал вентиль	4,5—5,5
Труба бурилиши 90° бурчак остида бўлса	0,14

Ички ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун умумий сарф бўлган босим қуйидагига тенг:

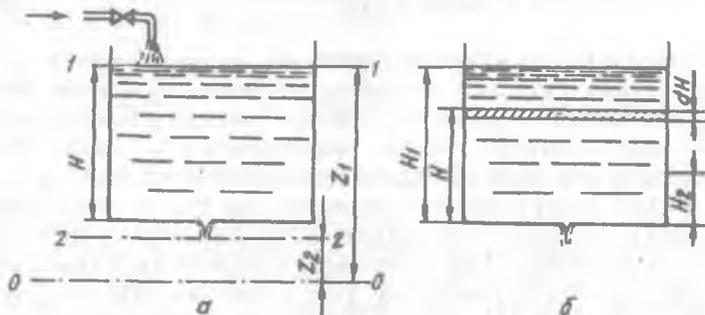
$$\Delta P = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \zeta_{\text{м.к.}} \right) \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (4.42)$$

4.14-§. СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ТЕШИКЛАР ОРҚАЛИ ОҚИБ ЧИҚИШИ

Идишдаги суюқликнинг пастки юпка девордаги думалоқ тешик орқали оқиб тушганда сарфланиш миқдорини аниқлашни кўриб чиқамиз (4.20- расм, а). Идишда идеал суюқлик бўлиб, унинг баландлиги бир хил вазиятда ўзгармасдан туради. Идишнинг пастки қисмига параллел бўлган 0—0 текисликка нисбатан 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g}$$

Идишнинг устки қисми очик бўлгани учун 1—1 ва 2—2 кесимлардаги босим ўзаро тенг ( $P_1 = P_2$ ) ва суюқликнинг баландли-



4.20- расм. Идишнинг тешигидан суюқликнинг оқиб чиқиши;

а) ўзгармас баландликда; б) ўзгарувчан баландликда.

ги ўзгармаганлиги учун унинг юқориги қисмидаги тезлиги  $w_1 = 0$ , бундан ташқари,  $z_1 - z_2 = H$ , у ҳолда:

$$\frac{w_2^2}{2g} = H \quad \text{Бундан} \quad w_2 = \sqrt{2gH}.$$

Демак, тешиқдан оқиб тушаётган суюқликнинг тезлиги суюқликнинг баландлигига боғлиқ экан. Ҳақиқий суюқлик тешиқдан оқиб чиқишида босимнинг бир қисми ички ишқаланиш кучларини енгиш учун сарф бўлади, бунда босимнинг йўқолиши тезлик коэффициентини  $\varphi$  орқали ҳисобга олинади, яъни:

$$w = \varphi \sqrt{2gH}. \quad (4.43)$$

Суюқлик оқими тешиқдан оқиб тушаётганда сиқилиши натижасида тезлик ва босим камаяди, бундай ҳолат тешиқдан чиқаётган оқимнинг сиқилиш коэффициентини орқали ҳисобга олинади ва  $\epsilon$  билан белгиланади:

$$\epsilon = \frac{S_2}{S_0}$$

бу ерда  $S_2$  — тешиқдан ўтган суюқлик оқимининг сиқилган жойдаги кўндаланг кесими;  $S_0$  — тешиқдан ўтаётган суюқлик оқимининг кўндаланг кесими.

Тезлик ва оқимнинг сиқилиш коэффициентларининг кўпайтмаси *сарф коэффициенти* дейилади ва  $\alpha$  билан белгиланади:

$$\alpha = \epsilon\varphi.$$

Бу коэффициент суюқлик турига боғлиқ бўлиб, ҳар қайси суюқлик учун тажриба орқали аниқланади ҳамда унинг қиймати суюқлик хусусияти, тешиқ шакли ва оқим тезлигига боғлиқ. Ҳажмий сарф миқдори:

$$V = \alpha S_0 \sqrt{2gH}. \quad (4.44)$$

(4.44) тенгламадан кўриниб турибдики, идишдан тешиқ орқали оқиб чиқаётган суюқлик миқдори идишнинг шаклига боғлиқ бўлмасдан тешиқ катталиги ва суюқлик баландлигига боғлиқдир. Сув ва ковушоқлиги сувнинг ковушоқлигига яқин бўлган суюқликлар учун сарф коэффициенти  $\alpha = 0,62$ .

Энди идиш ўзгарувчан баландликка эга бўлган суюқликнинг пастки юпқа девордаги тешиқдан оқиб, батамом чиқиб кетиш вақтини аниқлаймиз. Вақт бирлигида идишдаги суюқликнинг тешиқ орқали оқиб чиқишида унинг баландлиги ва тезлиги камаяди (4.20-расм, б). Суюқликнинг оқиш жараёни туганмас характерда бўлади. Элементар вақт  $de$  бирлигида суюқликнинг баландлиги  $H_1$  дан  $H_2$  га ўзгарганда идиш ҳажмидаги пастки тешиқдан оқиб ўтган суюқлик ҳажми:

$$dV = V_c d\tau = \alpha S_0 \sqrt{2gH} d\tau,$$

бу ерда  $S_0$  — идиш тубидаги тешикнинг кўндаланг кесими.

Вақт бирлигида идишдаги суюқлик баландлиги  $dH$  га ўзгаради ва бунда идишдаги суюқлик миқдори қуйидаги миқдорга камаяди:

$$dV = -S dH,$$

бу ерда  $S$  — идишнинг кўндаланг кесими; минус ишора идишдаги суюқлик баландлигининг камайганини кўрсатади.

Узлуксизлик тенгламасига асосан оқиб тушган суюқликлар миқдорини бир-бирига тенглаштираем:

$$\alpha S_0 \sqrt{2gH} = -S dH,$$

бундан

$$d\tau = -\frac{S dH}{\alpha S_0 \sqrt{2gH}}.$$

Суюқликнинг оқиб туриш вақтини аниқлаш учун бу ифодани интеграллаймиз:

$$\int_0^{\tau} d\tau = -\int_{H_1}^{H_2} \frac{S dH}{\alpha S_0 \sqrt{2gH}};$$

$$\tau = \frac{S}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} \int_{H_1}^{H_2} H^{-\frac{1}{2}} dH = \frac{2S}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}).$$

Демак

$$\tau = \frac{2S \sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}}. \quad (4.45)$$

Бу тенглик орқали идишдаги суюқлик баландлиги маълум миқдорга қамайганда, яъни  $H_1$  дан  $H_2$  га ўзгарганда суюқликнинг оқиб туриш вақти аниқланади. Идишдаги суюқликнинг бутунлай оқиб чиқиш вақти (бунда  $H_2 = 0$ ):

$$\tau = \frac{2S \sqrt{H_1}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}} \quad (4.46)$$

#### 4.15-§. СУЮҚЛИКНИНГ ДОНАСИМОН ҚАТЛАМДАГИ ҲАРАКАТИ

Қўпчилик кимёвий-технология жараёнларида суюқлик ва газлар сочилувчан донасимон материаллар қатламидан ўтказилади. Ишлатиладиган донасимон материаллар хилма-хил бўлиб, уларнинг шакли ва ўлчамлари ҳам турлича бўлади. Агар донасимон материаллар диаметри бир хил бўлса, *бир ўлчамли қатлам* ва ҳар хил бўлса *кўп ўлчамли қатлам* дейилади. Бу жараёнларда суюқлик ва газлар донасимон материалларнинг орасидан ва каналлардан ўтади. Донасимон материалларнинг қатлами гидравлик қаршилик, солиштирма юза, заррачалар

орасидаги бўшлик ҳажми, материалларнинг ўлчами ва шу каби катталиклар билан ифодаланади.

Баландлиги  $H$  ва кўндаланг кесими юза  $F$  бўлган донасимон қатламнинг гидравлик қаршилиги  $\Delta P_k$  ни Дарси — Вейсбах тенгламаси ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\Delta P_k = \lambda_k \frac{l \rho \omega^2}{d_s}, \quad (4.47)$$

бу ерда  $l$  — қатламдаги суюқлик оқими ўтадиган каналнинг узунлиги;  $\omega$  — оқимнинг каналдаги ўртача тезлиги;  $d_s$  — каналнинг эквивалент диаметри;  $\lambda_k = f(Re_k)$  қатламнинг қаршилиқ коэффициентини.

Қатлам учун Рейнольдс мезони:

$$Re_k = \frac{\omega_0 d_s \rho}{\mu},$$

бу ерда  $\omega_0$  — суюқликнинг маъхум тезлиги.

Маъхум тезлик суюқлик ҳажмий сарфини қатламнинг кўндаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг:  $\omega_0 = \frac{V}{F}$

Қатлам каналидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлиги:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\epsilon} \quad (4.48)$$

бу ерда  $\epsilon$  — қатламдаги бўш ҳажмнинг улуши.

Донасимон материаллар орасида бўш ҳажмнинг қатламнинг ҳажмига нисбати *бўш ҳажмнинг улуши* (ёки говаклилик) дейилади ва  $\epsilon$  билан белгиланади:

$$\epsilon = \frac{V - V_3}{V} = \frac{V_6}{V}, \quad (4.49)$$

бу ерда  $V$  — донасимон қатлам ҳажми;  $V_3$  — қатламдаги заррачalar эгаллаган ҳажм;  $V_6$  — қатламдаги бўш ҳажм.

Заррачаларнинг солиштирма юзаси ( $f_c$ ,  $m^2/m^3$ ) ва уларнинг оралигидаги каналларнинг эквивалент диаметри ( $d_s$ , м) қуйидаги тенгламалар ёрдамида аниқланади:

$$f_c = \frac{6(1-\epsilon)}{d}, \quad (4.50)$$

$$d_s = \frac{2}{3} d \frac{\epsilon}{1-\epsilon}, \quad (4.51)$$

бу ерда  $d$  — заррачаларнинг диаметри, м.

Каналларнинг узунлиги қатлам баландлиги орқали аниқланади:

$$l = \varphi H \quad (4.52)$$

бу ерда  $\varphi$  — тажриба коэффициентини,  $\varphi > 1$ .

$d_3$ ,  $\omega$ ,  $l$  қийматларини (4.47) тенгламага қўйиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$\Delta P_{\kappa} = \frac{3\lambda\varphi H(1-\varepsilon)\omega_0^2}{4d\varepsilon^3} \quad (4.53)$$

Ламинар оқим учун қатламнинг қаршилик коэффициенти:

$$\lambda_{\kappa} = \frac{64}{Re_{\kappa}} = \frac{64 \cdot 3\mu(1-\varepsilon)}{2\omega_0 d\rho} \quad (4.54)$$

Бундай ҳолатда:

$$\Delta P_{\kappa} = 72 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \varphi \frac{\omega_0 \mu H}{d^2} \quad (4.55)$$

(4.55) тенглама ёрдамида суюқлик ёки газнинг ғоваксимон қатлам орқали филтрлаш пайтида қатламнинг гидравлик қаршилигини аниқлаш мумкин.

Донасимон қатламдаги суюқликнинг турбулент оқими учун унинг қийматини аниқлаш жуда қийин вазифа ҳисобланади. Шу сабабли бундай шароитда  $\Delta P_{\kappa}$  нинг қиймати қуйидаги эмпирик тенглама билан топилади:

$$\Delta P_{\kappa} = \left[ 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \frac{\mu\omega_0}{d^2} + 1,75 \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\rho\omega_0^2}{d} \right] H \quad (4.56)$$

Агар қатлам заррачаларининг шакли шарсимон бўлмаса, бундай шароитда (4.53) ва (4.56) тенгламалардан фойдаланишда шаклни белгиловчи катталиқ  $\psi$  нинг қиймати ҳисобга олиниши керак:

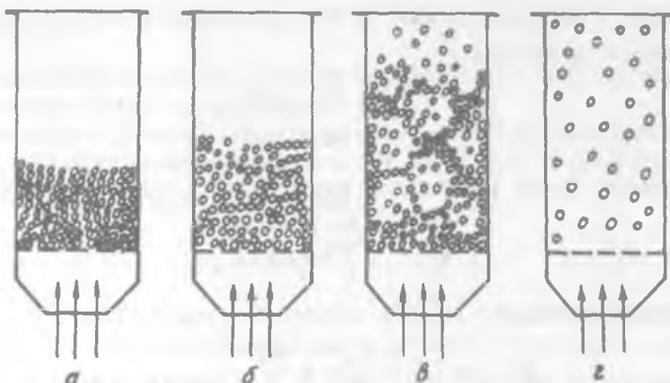
$$\psi = \frac{f_w}{f_3} \quad (4.57)$$

бу ерда  $f_3$  — текшириляётган заррачанинг ҳақиқий юзаси;  $f_w$  — текшириляётган заррачанинг ҳажмига тенг бўлган шарнинг юзаси.

Масалан, шарсимон заррачалар учун  $\psi = 1$ ; куб учун  $\psi = 0,806$ ; цилиндр учун  $\psi = 0,69$ .

#### 4.16-§. МАВХУМ ҚАЙНАШ

Ҳозирги вақтда қаттиқ донатор материалларнинг мавҳум қайнаш ҳолати саноатнинг турли тармоқларида, жумладан бир қатор кимёвий-технология жараёнлари (адсорблаш ва десорблаш, қуритиш, қаттиқ материалларни эритиш ва экстракляш, иссиқлик алмашиниш ва хоказо) да истиқболли усул сифатида кенг қўлланилмоқда. Бу усул қаттиқ заррачалар билан мухит (суюқлик ёки газ) ўртасида узлуксиз контактни яратиб беради.



4.21- расм. Мавхум қайнаш қатламининг ҳолатлари:

- а) қузғалмас қатлам (филтрлаш режими); б) бир жинсли мавхум қайнаш қатлами;  
 в) турли жинсли мавхум қайнаш қатлами; г) қаттиқ доначаларнинг оқим билан  
 чиқиб кетиши.

Бундай шароитда жараённинг энг муҳим катталиклари (температура ва концентрация) нинг бараварлашиши юз беради.

Мавхум қайнаш жараёнида фазалар ўртасидаги контакт юза катта бўлиши туфайли жараён бир неча марта тезлашади, натижада қурилманинг унумдорлиги ўшади. Мавхум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги нисбатан катта эмас. Донасимон заррачалар қатламини ҳосил қилиш учун ихтиёрий шаклдаги (масалан, цилиндрсимон) вертикал идишга донасимон қаттиқ материал солинади. Материал газ тарқатувчи тўр устига жойлаштирилади. Агар тўр орқали пастдан юқорига қартиб кичик тезлик билан газ ёки суюқлик оқими юборилса, материал қатлами ўзгармай қолади (4.21- расм, а). Газ оқими тезлигини аста-секин кўпайтириб борилса, тезлик маълум қийматга эга бўлганда қатламдаги материалнинг оғирлиги оқимнинг гидродинамик босим кучига тенг бўлиб қолади, бунда қаттиқ заррачалар гидродинамик мувозанат ҳолатини эгаллайди ва ҳар хил йўналишда силжий бошлайди. Газ тезлигини яна оширсак қатлам кенгайди, заррачалар ҳаракатининг тезлиги ортади, бунда гидродинамик мувозанат бузилмайди. Бундай шароитда қатлам мавхум қайнаш ҳолатини эгаллайди, яъни қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринади (4.21- расм, б, в).

Мавхум қайнаш ҳолатида материал заррачаларининг оғирлиги  $G$  нинг қурилма кўндаланг кесими  $F$  га нисбати ўзгармас бўлади:

$$\Delta P_x = \frac{G}{F} = \text{const} \quad (4.58)$$

бу ерда  $\Delta P_x$  — мавхум қайнаш ҳолатидаги қатламнинг гидравлик қаршилиги, Па.

Қатламнинг ўзгармас ҳолатдан мавҳум қайнаш ҳолатга ўтишига тўғри келадиган газ ёки суюқликнинг тезлиги мавҳум қайнашнинг бошланиш тезлиги ёки *биринчи критик тезлик* деб юритилади.

Агар газнинг тезлигини ошираверсак, тезлик маълум қийматга етганда гидродинамик босим кучлари материалнинг оғирлик кучларидан ортиб кетади, натижада қаттиқ материал доначалари газ оқими билан бирга чиқиб кетади (4.21- расм, *г*). Қаттиқ материал доначаларининг газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келадиган тезлик чиқиб кетиш тезлиги ёки *иккинчи критик тезлик* деб аталади. Шундай қилиб, *мавҳум қайнаш ҳолати биринчи ва иккинчи критик тезлик ўртасида* ( $w_{кр1} - w_{кр2}$ ) *юз беради*.

Мавҳум қайнаш икки хил (бир жинсли ва турли жинсли) кўринишда юз беради. Бир жинсли мавҳум қайнашда биринчи ва иккинчи критик тезлик ўртасида қаттиқ материал заррачалари бутун қатлам баландлиги бўйича бир хил тарқалган бўлади. Амалий жиҳатдан бундай мавҳум қайнаш жараёни томчили суюқлик (масалан, сув) ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Турли жинсли мавҳум қайнаш асосан қаттиқ модда заррачалари юза оқими ёрдамида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда юз беради. Бунда биринчи ва иккинчи критик тезликлар оралиғида қаттиқ модда заррачалари қатлам бўйлаб ҳар хил тарқалган бўлади.

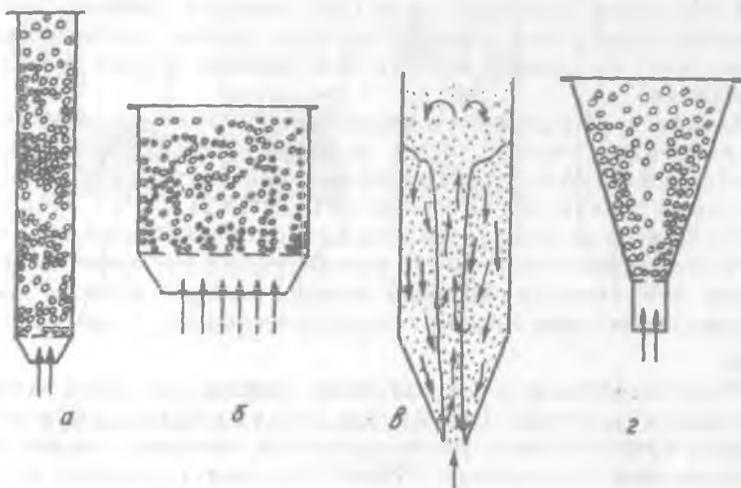
Турли жинсли қатламнинг ҳосил бўлиш даражаси заррачаларнинг юзаси ва шаклига, қаттиқ материал заррачалари ва ҳаракатдаги оқим зичликларининг нисбатига, заррачаларнинг диаметрига, оқимнинг тезлигига, газ тарқатувчи тўрнинг хилига боғлиқ.

Саноатда кўпинча қаттиқ модда — газ системасидаги мавҳум қайнаш қатлами жараёнлари кўпроқ ишлатилади. Бундай системалар кўпинча турли жинсли бўлади.

Агар қаттиқ заррачаларнинг ўлчами катталашиб, қурилманинг диаметри кичиклашса ва газнинг тезлиги кўпайса поршенли қатлам пайдо бўлади (4.22- расм, *а*). Поршенли қатламда қаттиқ фазанинг вертикал йўналишидаги аралаштирилиши қийинлашади.

Нам қаттиқ материаллар ёки жуда кичик ўлчамли (масалан, ўлчами микрон атрофида) материаллар мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда канал ҳосил қилувчи қатлам пайдо бўлади (4.22- расм, *б*). Бунда газ каналлар орқали ўтиб кетади, қаттиқ материалларнинг асосий массаси ўзгармай қолаверади. Конуссимон ва конусцилиндрсимон қурилмаларда канал ҳосил қилувчи қатлам фавворали қатламга айланади (4.22- расм, *в, г*). Бундай шароитда газ ёки суюқлик оқими асосан қурилманинг ўқи бўйлаб қаттиқ заррачалар билан бирга ҳаракат қилади ва фаввора каби уларни юқорига отади. Сўнгра қаттиқ заррачалар қурилма девори ёнидан пастга қараб ҳаракат камаяди.

Ҳозирги вақтга келиб мутахассислар томонидан мавҳум қайнашнинг қуйидаги янги усуллари таклиф қилинмоқда: *а*) босим



4.22- расм. Мавҳум қайнаш қатламининг турлари:

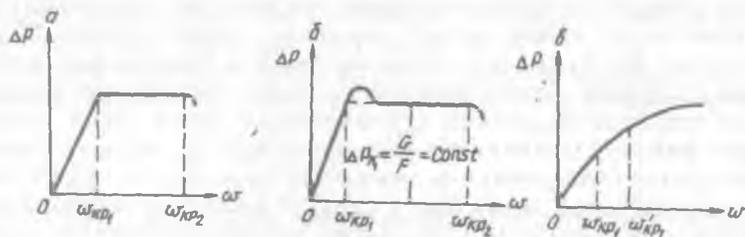
а) поршенли қайнаш қатлами; б) каналли қайнаш қатлами; в, г) фонтансимон қайнаш қатлами.

гаъсиридаги ва юқори температурали мавҳум қайнаш қатлами; б) марказдан қочма куч майдонидаги мавҳум қайнаш қатлами; в) оқимнинг импульсли циркуляциясига эга бўлган мавҳум қайнаш қатлами; г) вибрация таъсирида мавҳум қайновчи қатлам; д) фавворали ёки уярма қатлам ва хоказо.

Муҳит тезлигининг қийматига кўра (4.23- расм) учта режим мавжуд: 1) филтёрлаш ( $\omega < \omega_{кр1}$ ); 2) мавҳум қайнаш қатлами ( $\omega \geq \omega_{кр1}$ ); 3) материал заррачаларини оқим билан чиқиб кетиши ( $\omega > \omega_{кр2}$ ).

Мавҳум қайнаш ҳолатида баландлиги  $H$  бўлган қатламнинг кесимида босим ва оғирлик кучининг баланси рўй беради, яъни:

$$\frac{\Delta P_k}{H} = (\rho_{кз} - \rho_m)(1 - \varepsilon)g, \quad (4.59)$$



4.23- расм. Мавҳум қайнаш эгри чизиклари:

а) идеал ҳолат учун; б) ҳақиқий бир ўлчмли заррачалар аралашмаси учун; в) кўп ўлчамли заррачалар аралашмаси учун.

бу ерда  $\rho_{кз}$  — қаттиқ заррачаларнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho$  — мухитнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varepsilon$  — қатламдаги бўш хажининг улуши;  $g$  — эркин тушиш тезланиш,  $\text{м}^2/\Delta\text{с}$ .

Мавҳум қайнаш ҳосил бўлишининг критик тезлигини топиш учун жуда кўп тенгламалар таклиф этилган. Шарсимон бир жинсли заррачалар учун биринчи критик тезликни топишда *Todes* тенгласидан фойдаланиш энг қулайдир:

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}}, \quad (4.60)$$

бу ерда

$$Re_{кр} = \frac{w_{кр1} d \rho}{\mu}; \quad Ar = \frac{d^2 (\rho_{кз} - \rho) g}{\mu^2};$$

$d$  — қаттиқ заррачалар диаметри,  $\text{м}$ ;  $\mu$  — мухитнинг динамик ковшоклиги,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Тегишли кенгайишликка эга бўлган бир жинсли мавҳум қайнаш қатламини ҳосил қилиш учун зарур бўлган тезликнинг қийматини умумлаштирилган тенглама ёрдамида аниқласа бўлади:

$$Re = \frac{Ar \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,61 \sqrt{Ar \varepsilon^{4,75}}} \quad (4.61)$$

(4.61) тенгламадаги  $\varepsilon$  нинг қийматини топиш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади

$$\varepsilon = \left( 18 Re + \frac{0,36 \cdot Re^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (4.62)$$

(4.61) ва (4.62) тенгламалардан суспензияларни ажратишда қаттиқ заррачаларнинг сиқилган ҳолатдаги чуқиш жараёнини ҳисоблашда фойдаланиш мумкин. Ўзгармас қатлам ва мавҳум қайнаш қатлами баландликлари ўртасида боғлиқлик бор:

$$H(1 - \varepsilon) = H_0(1 - \varepsilon_0), \quad (4.63)$$

$H$  — мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги,  $\text{м}$ ;  $\varepsilon$  — мавҳум қайнаш қатламидаги заррачалар орасидаги бўшлиқнинг улуши;  $\varepsilon_0$  — ўзгармас қатламдаги заррачалар орасидаги бўшлиқнинг улуши;  $H_0$  — ўзгармас қатлам баландлиги,  $\text{м}$ .

Мавҳум қайнаш жараёни мавҳум қайнаш сони  $K_w$  билан характерланади:

$$K_w = \frac{w}{w_{кр1}} \quad (4.64)$$

бу ерда  $\omega$  — қурилманинг тўла кесимига нисбатан олинган иш тезлиги, м/с;  $\omega_{кр1}$  — мавҳум қайнаш қатламининг ҳосил бўлиш критик тезлиги, м/с.

Мавҳум қайнаш сони заррачаларнинг қатламдаги аралашиш тезлигини кўрсатади. Мавҳум қайнаш қатламида энг тез аралашиш  $K_w=2$  да бўлади. Лекин ҳар бир технология жараёни учун унинг оптимал қийматини тажриба йўли билан аниқланади.

Заррачаларнинг қатламда ўртача бўлиш вақти;

$$\tau_0 = \frac{G_w}{G_c} \quad (4.65)$$

бу ерда  $G_w$  — қатламда бўлган қаттиқ материалнинг массаси, кг;  $G_c$  — қаттиқ материалнинг сарфи, кг/с.

Қаттиқ заррачаларнинг суюқлик ёки газ оқими билан қурилмадан чиқиш тезлигини  $\omega_r$  деб оламиз. Бундай шароитда қатламнинг кенгайиш даражаси энг катта қийматга эга бўлади, яъни  $\epsilon=1$ . Тахминий ҳисоблашлар ( $\omega_r = \omega_{кр2}$ ) учун (4.61) тенгламадаги  $\epsilon$  нинг қийматини бирга тенг деб олиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$Re_r = \frac{\Delta r}{18 + 0,61 \sqrt{\Delta r}} \quad (4.66)$$

бу ерда

$$Re_r = \frac{\omega_r d_p}{\mu}$$

Қаттиқ материал заррачаларининг оқим билан чиқиб кетиш режими сочилувчан майда донали материалларни узатиш (пневмо — ва гидротранспорт) учун ишлатилади.

Тошкент кимё-технология институти «Жараёнлар ва қурилмалар» кафедрасида олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, донасимон толали материаллар (масалан, пахта чигити)нинг мавҳум қайнаш қатлами ўзига хос хусусиятларга эга экан. Чунки пахта чигитининг донаси ноксимон нотўғри шаклга эга бўлиб, юзасидан турли узунликка эга бўлган туклари бўлади. Пахта чигити учун биринчи критик тезлик  $\omega_{кр1}$  нинг қиймати чигитнинг тола ушлашлигига боғлиқ эканлиги тасдиқланади. Бундан ташқари чигит қатлами учун  $\epsilon_0=0,43 + 0,55$  маълум бўлди, ваҳоланки кўпчилик сочилувчан материаллар учун  $\epsilon_0=0,38 \div 0,42$  (ўртача ҳисобда  $\epsilon_0=0,4$ ).

Тажрибалардан маълум бўлдики, пахта чигитининг эквивалент диаметри  $d_3$  ва зичлиги  $\rho$  унинг тола ушлашлиги  $T$  га боғлиқ экан:

$T, \%$	0	2	4	6	8	10	12	14
$d_3, \text{мм}$	5,6	6,1	6,45	6,75	7,02	7,22	7,37	7,55
$\rho, \text{кг/м}^3$	1078	941	843	756	674	601	568	560

Туксиз ва тола ушлашлиги 13 % гача бўлган тукли пахта чигити бўйича тажриба натижаларини қайта ишлаш орқали  $Re_{кр}$  ни аниқлаш учун қуйидаги тенглама таклиф этилди:

$$Re_{кр} = 0,456 \left( \frac{Ar}{10^6} \right)^{3,63} \quad (4.65)$$

Тадқиқотлардан маълум бўлдики, мавҳум қайнаш ҳолатининг ҳосил бўлишини белгилловчи  $Re_{кр}$  (ёки биринчи критик тезлик  $\omega_{кр1}$ ) нинг қиймати шакл коэффицентига ва заррачанинг тола ушлашлигига боғлиқ экан. Шу сабабдан донасимон толали материалларнинг ушбу хоссалари заррачанинг тола ушлашлик даражасини белгилловчи коэффицент  $\eta$  орқали ҳисобга олиниши мақсадга мувофиқ бўлади:

$$\eta = \frac{Re_{кр}}{Re_{кр}^0} \quad (4.66)$$

бу ерда  $Re_{кр}^0$  — туксиз чигит ( $T=0$  %) учун  $Re_{кр}$  нинг қиймати.

Турли навдаги пахта чигити учун  $\eta$  нинг қиймати  $\eta = 1,0 \div \div 2,32$  га тенг бўлиб, қуйидаги эмпирик тенглама орқали топилади.

$$\eta = 1 + 0,43 T^{0,44}, \quad (4.67)$$

бу ерда  $T$  — чигитнинг ташқи юзасидаги толанинг миқдори, %.

Қаттиқ заррачанинг тола ушлашлик даражаси топилгандан сўнг амалиётда етарли аниқлик билан донасимон-толали материаллар учун мавҳум қайнашнинг биринчи критик тезлигини қуйидаги тенглама орқали ҳисоблаш мумкин:

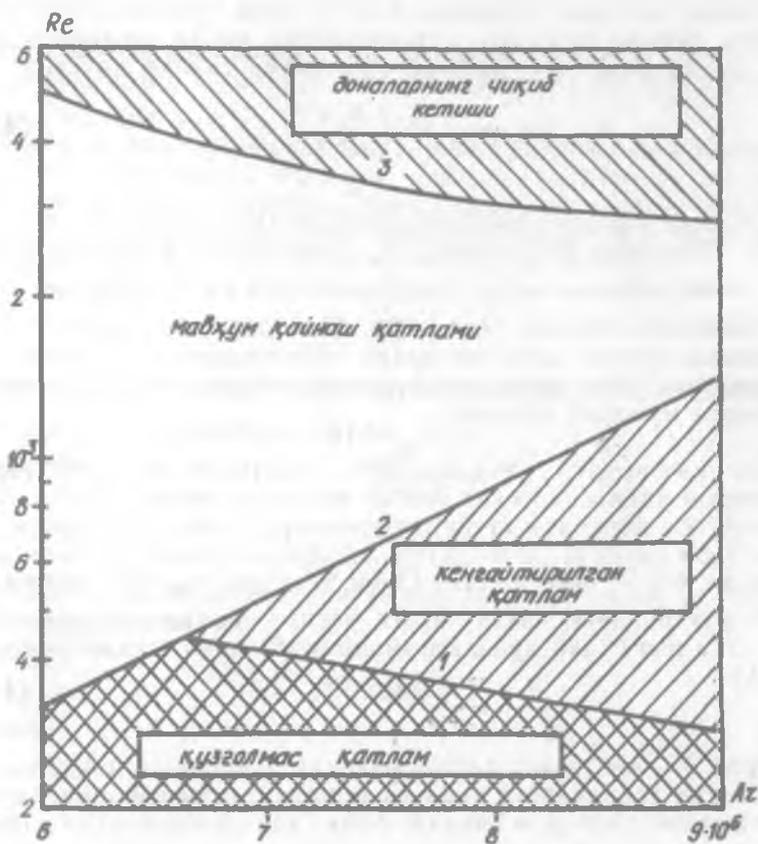
$$Re_{кр} = \eta \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}} \quad (4.68)$$

(4.68) ифода Тодес тенгласининг ўзгарган кўриниши ҳисобланади.

Донасимон-толали материалларнинг қурилмадан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келган тезлик (яъни иккинчи критик тезлик)  $\omega_{кр2}$  ни аниқлаш учун қуйидаги тенглама таклиф қилинди:

$$Re_2 = \frac{\eta^{0,422} Ar}{20,16 + 0,683 \sqrt{Ar}} \quad (4.69)$$

Донасимон-толали материаллар бўйича олиб борилган тажриба натижаларини  $Re = f(Ar)$  кўринишида қайта ишлаш натижасида қўзғалмас, кенгайтирилган ва мавҳум қайнаш ҳолатларининг чегаралари аниқланилади (4.24- расм).



4.24- расм. Донасимон — толали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегаралари:

1 — қузғалмас ва кенгайтирилган қатламлар ўртасидаги чегара; 2 — мавҳум қайнаш қатламининг иастки чегараси; 3 — мавҳум қайнаш қатлами ва заррачаларнинг қатламдан чиқиб кетиш ҳолати ўртасидаги чегара.

4.24- расмдан кўриниб турибдики, мавҳум қайнашнинг критик ҳолатгача бўлган зонасида ( $K_w < 1$ ) фақат донасимон-толали материалларга хос бўлган қатламнинг кенгайиши юз беради. Бу зонада қатламнинг кенгайиши чигитнинг ташки юзасида тола ушлашлик даражаси  $\eta$  га боғлиқ бўлиб, қуйидаги чегараларда ўзгаради:  $\frac{H}{H_0} = 1,05 \div 1,8$ .

Кенгайтирилган қатламнинг бошланиш чегарасини аниқлаш учун қуйидаги эмпирик тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Re_{кр} = (431,2 - 111,15\eta)P^{0,183} \quad (4.70)$$

бу ерда  $P$  — қатлам массасининг юзага нисбати,  $кг/м^2$ .

(4.70) тенгламадан  $\eta = 1 \div 2.43$  ва  $P$  нинг қиймати  $100 \text{ кг/м}^2$  га-ча бўлганда қўлланса бўлади.

Шундай қилиб, Тошкент кимё-технология институтида олиб борилган тадқиқотлар натижасида донасимон-толали матери-алларнинг мавҳум қайнаш ҳолатида бўла олиш чегаралари аниқланди. Қўзғалмас ва кенгайтирилган қатламлар ўртасидаги чегара чизиғи (4.70) тенглама ёрдамида, мавҳум қайнаш ҳолатининг пастки чегараси (4.65) тенглама орқали, заррача-ларнинг қурилмадан газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолати эса (4.69) тенглама билан ҳисобланиши мумкин. Демак, донасимон-толали материаллар учун мавҳум қайнаш ҳолат 2 ва 3- чегара чизиқлари оралиғида мавжуд бўлади. Бу ҳолатнинг чегара қийматларини 4.24- расмдан олиш мумкин.

#### ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 4.1. Техникавий гидравликанинг асосий вазифалари. Идеал ва ҳақиқий суюқлик ўртасида қандай фарқ бор?
- 4.2. Гидростатик босим. Босимнинг қиймати қандай ўлчов бирликлари орқали ўлчанади?
- 4.3. Суюқликнинг мувозанат ҳолатини қайси дифференциал тенглама билан ифодалаш мумкин? Гидростатиканинг асосий тенгламаси қандай қўринишга эга?
- 4.4. Ньютон ва ноньютон суюқликларнинг асосий хусусиятлари. Ноньютон суюқ-ликлар неча турга бўлинади?
- 4.5. Оқимнинг узлуксизлиги. Суюқликнинг тезлиги ва сарфини қайси тенглама-лар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.6. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер ва Навье-Стокс дифференциал тенгламалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 4.7. Идеал ва ҳақиқий суюқликлар учун Бернулли тенгламалари.
- 4.8. Суюқликларнинг ҳаракат режимлари. Рейнольдс мезонининг критик қий-мати. Тезликларнинг труба қўндаланг кесими бўйича тақсимланиши.
- 4.9. Суюқлик оқимининг тузилиши. Оқимнинг физик моделлари.
- 4.10. Гидравлик қаршиликлар. Ишқаланиш коэффицентининг қийматини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.11. Суюқликнинг тешиқлар орқали оқиб чиқишини ифодалайдиган асосий тенг-ламалар.
- 4.12. Суюқликнинг донасимон қатламдаги ҳаракати. Қатламнинг гидравлик қар-шилигини қайси тартибда ҳисоблаш мумкин?
- 4.13. Мавҳум қайнаш ҳолатининг асосий хусусиятлари. Биринчи ва иккинчи кри-тик тезликлар қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 4.14. Донасимон-толали материалларнинг гидродинамикаси. Бундай қатламдан газ оқими ўтганда неча зона ҳосил бўлади?
- 4.15. Донасимон-толали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегараларини аниқлаш учун қандай тенгламалар тақлиф этилган?
- 4.16. Суюқликларни трубопровод орқали узатиш учун энергия сарфини ва оқим-нинг муқобил тезлигини аниқлаш.
- 4.17. Суюқликнинг плёнкали ҳаракатининг кимёвий технологияда ишлатилиши. Плёнканинг қалинлигини қандай қилиб аниқлаш мумкин?

## 5-боб. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРНИ УЗАТИШ

### 5.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кимё саноатининг барча тармоқларида суюқликлар, газлар, буглар, пластик ва сочилувчан материаллар трубопроводлар ёрдамида узатилади. Суюқлик ва газларни узатиш учун гидравлик машиналар ишлатилади. Механик ишни оқимнинг энергиясига айлантирувчи қурилма *гидравлик машина* деб юритилади.

Гидравлик машинанинг энергияси оқимга тезлик беришдан ташқари узатиш йўлидаги қаршиликларни енгиш учун ҳам сарф бўлади. Ушбу машиналар асосан икки гуруҳга бўлинади: 1) насослар — суюқликларни узатиш учун; 2) компрессорлар — газларни нормал босимдан юқори босимгача сиқиш ва уларни узатиш учун.

Насослар асосан икки турга: динамик ва ҳажмий насосларга бўлинади. Динамик насосларда суюқлик ташқи куч таъсирида ҳаракатга келтирилади. Насос ичидаги суюқлик насосга кириш ва ундан чиқиш трубалари билан узлуксиз боғланган бўлади. Суюқликка таъсир қиладиган кучнинг турига кўра динамик насослар парракли ва ишқаланиш кучи ёрдамида ишлайдиган насосларга бўлинади.

Парракли насослар ўз навбатида марказдан қочма ва пропеллерли (ўкли) насосларга бўлинади. Марказдан қочма насосларда суюқлик иш гилдиракларнинг марказидан унинг четига қараб ҳаракат қилса, пропеллерли насосларда эса суюқлик гилдиракнинг ўқи йўналишида ҳаракат қилади.

Ишқаланиш кучига асосланган насослар икки хил (уюрмавий ва оқимли) бўлади, Уюрмавий ва оқимли насосларда суюқлик асосан ишқаланиш кучи таъсирида ҳаракатга келади. Ҳажмий насосларнинг ишлаш принципи суюқликнинг маълум бир ҳажмини ёпиқ камерадан итариб чиқаришга асосланган. Ҳажмий насослар жумласига поршенли, плунжерли, диафрагмали, тишли, пластина-ли ва винтсимон насослар киради.

✓ Саноатда суюқликларни сиқилган газ (ёки ҳаво) ёрдамида узатиш учун эрлифтлар ва монтежюлар ҳам ишлатилади.

Трубаларнинг бошланғич ва охириги нуқталаридаги босимлар фарқи трубалардан суюқликнинг оқиши учун ҳаракатлантирувчи куч ҳисобланади. Насос электрдвигателдан механик энергия олиб, уни суюқликнинг ҳаракатланаётган оқим энергиясига айлантириб, босимни оширади. Худди суюқликлар каби газлар ҳам босимлар фарқи бўлгандагина узатилади. Сиқилган газ босими  $P_2$  нинг сиқилмаган газ босими  $P_1$  га нисбати сиқиш даражаси дейилади. Сиқиш даражасининг катталигига қараб компрессор машиналар куйидаги типларга бўлинади:

а) *вентильаторлар* ( $P_2/P_1 < 1,1$ ) — кўп миқдордаги газларни узатиш учун фойдаланилади;

б) *газодувкалар* ( $1,1 < P_2/P_1 < 3$ ) — газ трубаларида катта қаршилиқ бўлганда ишлатилади;

в) *компрессорлар* ( $P_2/P_1 < 3$ ) — юкори босим ҳосил қилиш учун ишлатилади;

г) *вакуум насослар* — босими атмосфера босимидан паст бўлган газларни сўриш учун ишлатилади.

Ишлаш принципига кўра компрессорлар ҳажмий ва парракли бўлади.

Ҳажмий компрессорларда газ босими унинг ҳажмини мажбурий камайтириш ҳисобига кўпаяди. Ҳажмий компрессорлар жумласига поршенли, ротацион ва винтли компрессорлар киради.

Парракли компрессорларда газ босими компрессорнинг ғилдираклари айланганида вужудга келадиган инерция кучлари таъсирида кўпаяди. Улар *трубокомпрессорлар* ҳам дейилади.

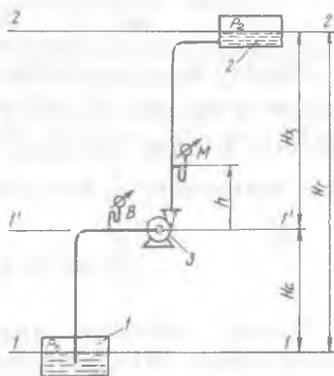
Насослар, вентиляторлар, газодувкалар, компрессорлар ва вакуум насослардан фойдаланиш бир қатор катталиклар билан характерланади: иш унумдорлиги ( $Q$  м<sup>3</sup>/с); босим ( $H$ , м суюқлик устуни); истеъмол қиладиган қувват ( $N$ , кВт).

## 5.2-§. НАСОС БОСИМИ ВА СЎРИШ БАЛАНДЛИГИ

**Умумий босим.** Суюқликни пастки идишдан (5.1-расм) сўриш ва ҳайдаш трубалари орқали ҳайдаш учун двигателъ насосга зарур энергия бериши, яъни насос босими (напор) ҳосил қилиши лозим.

Насоснинг умумий босимини 5.1-расмдаги насос қурилмасидан аниқлаш учун сўриш ва ҳайдаш трубалари учун Бернулли тенгламасининг ўзгаришидан фойдаланамиз. Бунинг учун сўриш ва ҳайдаш вақтидаги параметрларнинг ўзгаришини қуйидаги тартибда аниқлаймиз:

$P_1$  — суюқлик сўриб олинаётган идишдаги босим;  $P_2$  — юкорида жойлашган идишдаги босим;  $P_c$ ,  $P_x$  — суюқликнинг насосга киришидаги ва чиқишидаги босими;  $H_c$  — сўриш баландлиги;  $H_x$  — ҳайдаш баландлиги;  $H_r$  — суюқликнинг геометрик қўтарилиш баландлиги;  $h$  — вакуумметр ва манометр ўрнатилган нуқталар орасидаги вертикал масофа.



5.1-расм. Насоснинг умумий босимини аниқлаш:

1 — суюқлик узатиладиган резервуар;  
2 — суюқликни қабул қилувчи резервуар;  
3 — насос; М — манометр; В — вакуумметр.

Насоснинг босимини аниқлаш учун пастки идишдаги суюқлик баландлигининг текислигига нисбатан сўриш вақтидаги 1—1 ва 1' — 1' кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega_1^2}{2g} = H_c + \frac{\omega_c}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + h_c \quad (5.1)$$

Худди шунингдек, насос ўқидан ўтувчи текисликка нисбатан ҳайдаш вақтидаги 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{P_{x_1}}{\rho g} + \frac{\omega_{x_1}^2}{2g} = H_{x_1} + \frac{\omega_2^2}{2g} + \frac{P_2}{2g} + h_{x_1} \quad (5.2)$$

бу тенгламаларда:  $\omega_1, \omega_2$  — пастки ва юқориги идишлардаги суюқликнинг тезлиги;  $\omega_c, \omega_x$  — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги суюқлик тезлиги;  $h_c, h_x$  — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган босим миқдори.

Сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқориги идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлиб, у нолга тенг ( $\omega_1 = 0; \omega_2 = 0$ ).

Насоснинг босими оқимнинг насосга кириш ва чиқишдаги солиштирма энергиялари айирмасига тенг:

$$H = \frac{P_c - P_x}{\rho g} \quad (5.3)$$

(5.1) ва (5.2) тенгламалардан айирмалар фарқини аниқласак:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{\omega_c^2 - \omega_x^2}{2g} + H_c + H_x + h_c + h_x \quad (5.4)$$

Бунда  $\omega_c = \omega_x$ , чунки ҳайдаш ва сўриш трубаларининг диаметри бир хил.  $h_y = h_c + h_x$  трубанинг умумий гидравлик қаршилиги. Бундан ташқари, 5.1-расмдан:  $H_c + H_x + H_r$ . Бу ҳолда (5.4) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = H_r + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_y \quad (5.5)$$

Демак, насоснинг умумий босими суюқликни геометрик баландликка кўтариш учун, пастки ва юқориги идишлардаги босимлар орасидаги фарқни ҳамда сўриш ва узатиш трубаларидаги гидравлик қаршиликни енгиш учун сарфланади. Агар пастки ва юқориги идишлардаги босим ўзаро тенг бўлса, у ҳолда насоснинг умумий босими:

$$H = H_r + h_y \quad (5.6)$$

Суюклик горизонтал трубалар орқали узатилса ( $H_r=0$ ):

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_y. \quad (5.7)$$

Худди шунингдек, насоснинг умумий босимини манометр ва вакуумметрнинг кўрсатиши бўйича ҳам аниқлаш мумкин:

$$H = \frac{P_u + P_{\text{нак}}}{\rho g} + h. \quad (5.8)$$

Шундай қилиб, насоснинг умумий босими манометр ва вакуумметрлар (узатилаётган суюклик устуни метр ҳисобида) кўрсатишларининг йиғиндиси билан бу асбоблар уланган нуқталар орасидаги вертикал масофанинг ( $h$ ) йиғиндисига тенг.

**Сўриш баландлиги.** Пастки идишдаги суюкликнинг эркин сиртига (5.1- расм) атмосфера босими  $P_0$  таъсир этади. Суюклик сўриш трубаси орқали баландликка кўтарилиб, насоснинг иш камерасини тўлдириши учун бу камерада сийракланиш (яъни вакуум) вужудга келтириш керак. Бунда иш камерасига қолдиқ абсолют босим  $P_c < P_0$  таъсир этади. Босимлар фарқи ( $P_0 - P_c$ ) ҳосил бўлганлиги сабабли суюклик устунининг метрларда ифодаланган босими  $(P_0 - P_c)/\rho g$  ҳосил бўлади. Бу босимнинг бир қисми суюкликни сўриш трубасида  $H$  баландликка кўтариш учун, қолган қисми эса суюкликнинг трубада  $\omega$  тезлик билан ҳаракатланишига ёки тезлик босимини ҳосил қилиш учун ва сўрилаётган суюклик йўлида учрайдиган барча қаршиликларни енгишга сарфланади. У ҳолда:

$$\frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_c}{\rho g} = H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c. \quad (5.9)$$

Узатилаётган суюкликнинг қайнаб кетишини ҳисобга олган ҳолда (у доим сўрилиши учун) сўрилиш трубаларидаги босим шу температурадаги суюкликнинг тўйинган буг босими  $P_1$  дан юқори бўлиши керак. Бунда насоснинг нормал ишлаши учун тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{P_c}{\rho g} = \frac{P_0}{\rho g} - \left( H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{P_1}{\rho g}$$

Бу ердан

$$H_c \leq \frac{P_0}{\rho g} - \left( \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \quad (5.10)$$

Температура ортиши билан суюкликнинг тўйинган буг босими ҳам ортиб, у қайнаш температурасида ташқи атмосфера босимига тенглашади, бу вақтда сўриш баландлиги нолга тенг бўлади. Шунинг учун ковушоқлиги юқори ва иссиқ суюкликларни

узатаётганда насос қабул қилувчи идишга нисбатан пастрок ўрнатилиши зарур.

Насослар сўриш баландлигининг узатилаётган сув температураси билан боғлиқлиги 5.1-жадвалда берилган.

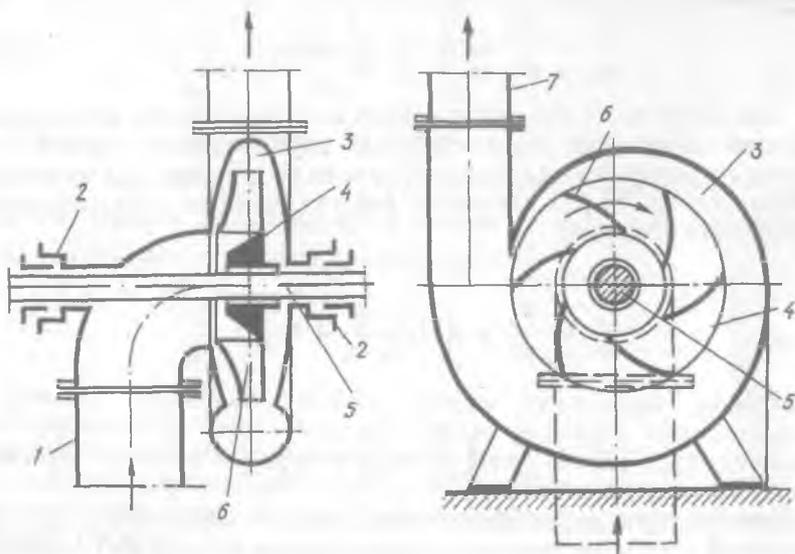
5.1-жадвал. Сўриш баландлигининг ўзгариши

Сувнинг температураси, °С	10	20	30	40	50	60	65
Сўриш баландлиги, м	6	5	4	3	2	1	0

Худди шунингдек, сўриш баландлигини ҳисоблашда гидравлик ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун кетган сарфлардан ташқари, марказдан қочма насосларда кавитация ходисаси, поршенли насосларда эса инерцион куч таъсирида бўладиган босим йўқолишлари инобатга олиниши лозим.

### 5.3-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА НАСОСЛАР

**Ишлаш принципи.** Марказдан қочма насосларда спиралсимон қобик ичида парракли иш гилдирак жойлашган бўлади. Иш гилдиракнинг айланишида марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида суюқликнинг сўрилиши ва уни ҳайдаш бир меъёрда узлуксиз боради. 5.2-расмда марказдан қочма насос схемаси кўрсатилган. Сўриш трубази орқали таъминловчи идишдан кўтарилган суюқлик иш гилдиракнинг марказий қисмига киради.



5.2-расм. Марказдан қочма насос:

1 — сўриш патрубкиси; 2 — сальник; 3 — қобик; 4 — иш гилдираги; 5 — иш гилдиракнинг кураклари; 6 — ҳайдаш патрубкиси.

Сўнгра иш гилдирагининг кураклари орасидан ўтиб, насос камерасига тушади. Бу ерда марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босим суюқликни ҳайдаш трубасига сиқиб чиқаради. Бунда иш гилдирагига кириш олдида сийракланиш вужудга келади. Кураклар орасидаги каналлардан суюқлик бир текисда ҳайдаш трубасига берилиши ва суюқлик тезлигини аста-секин камайтириб, суюқлик босимини ошириш учун кўзгалмас қобик спиралсимон шаклда тайёрланади. Суюқликнинг ҳайдаш трубасида маълум миқдордаги тезлик билан оқишини таъминлаш учун насоснинг камераси йўналтиргич ва диффузор каби бир қанча мосламалардан фойдаланилади. Насосдаги сўрилиш қабул қилувчи идишдаги суюқлик сатҳига таъсир қилувчи босим билан сўриш трубасидаги сийракланиш босими орасидаги фарқ ҳисобига амалга ошади.

Насоснинг ишлашини текшириб кўриш учун сўриш линиясига вакуумметр ва ҳайдаш трубасига эса манометр ўрнатилади. Бундан ташқари, насосда узатилаётган суюқликнинг миқдорини рўстлаб туриш учун ҳайдаш трубасига кран, вентиль ёки задвижка ўрнатилади. Насос қисқа муддатга тўхтатилганда, шунингдек, иш гилдираги суюқлик билан тўлдирилганда, суюқлик тушиб кетмаслиги учун сўриш трубасига клапан ўрнатилади.

Гилдираклар сонига қараб марказдан қочма насослар бир ва кўп босқичли бўлади. Бир босқичли насосларда ҳосил бўладиган умумий босим 50 метрдан (айрим ҳолларда 70 метрдан) ошмайди. Кўп босқичли насосларда суюқлик бир валга кетма-кет уланган иш гилдираклари орқали ўтади. Бундай гилдиракларда босим белгиланган миқдорларгача аста-секин ортиб боради. Ҳозирги кунда ишлатилаётган кўп босқичли насосларнинг босими 20 мПа гача боради.

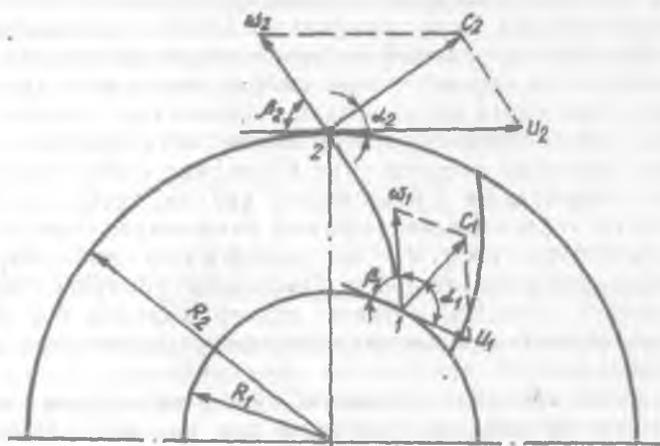
Марказдан қочма насосларнинг вали ҳам горизонтал ҳам вертикал жойлашган бўлиши мумкин.

**Марказдан қочма насосларнинг характеристикалари.** Иш гилдирагининг парраклари ёрдамида ҳосил бўлган назарий босим  $H_0$  (метр ҳисобида) Бернулли тенгламасига асосан қуйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$H_0 = \frac{(U_2^2 \cos \alpha_2 - U_1^2 \cos \alpha_1)}{g} \quad (5.11)$$

бу ерда  $U$  — суюқлик оқимчасининг айланма тезлиги;  $C$  — гилдирак каналидаги суюқликнинг абсолют тезлиги, бу тезлик  $U$  ва  $W$  тезликларининг геометрик суммаси ҳисобланади (5.3-расм);  $W$  — суюқликнинг нисбий тезлиги;  $\alpha$  — суюқликнинг иш гилдирагининг паррагига кириш бурчаги; 1 ва 2 кўрсаткичлар суюқликнинг каналга кириши ва ундан чиқишини белгилайди.

(5.11) ифода *Эйлер* томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, марказдан қочма машиналарнинг асосий тенгламаси деб юритилади.



5.3- расм. Марказдан қочма насос иш гилдираги каналларидаги суюқлик ҳаракатининг чизмаси.

Максимал қийматдаги босим олиш учун суюқлик гилдиракнинг паррагига  $\alpha = 90^\circ$  бурчак билан, яъни радиал йўналишда берилиши керак. Бундай шароитда (5.11) тенглама соддалашади, чунки  $\cos 90^\circ = 0$ :

$$H_s = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (5.12)$$

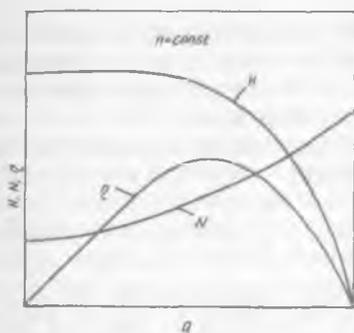
Насос гилдирагининг ичидаги гидравлик қаршиликни енгиш учун ва эгри чизиқли каналда суюқлик оқимчалари траекторияларининг ҳар хил бўлишлиги сабабли, ҳақиқий босим назарий босимга нисбатан доимо кам бўлади:

$$H = H_s \eta_r \eta_u, \quad (5.13)$$

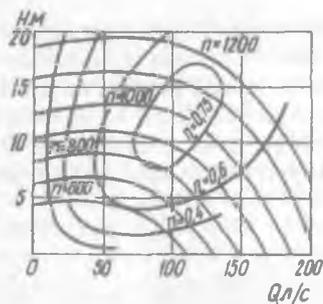
бу ерда  $\eta_r$  — насоснинг тузилиши ва ўлчамларига боғлиқ бўлган гидравлик фойдали иш коэффициенти ( $\eta_r = 0,7 \div 0,9$ );  $\eta_u$  — паррақларнинг сонига боғлиқ бўлган коэффициент ( $\eta_u = 0,56 \div 0,84$ ), ўрта ҳисобда  $\eta_u = 0,8$ )

Гидравлик фойдали иш коэффициенти ва назарий босимнинг қиймати паррақларнинг қиялик бурчаги  $\beta_2$  ва унинг шаклига ҳам боғлиқ бўлади (5.3- расм). Орқа томонга эгилган ( $\beta_2 < 90^\circ$ ) паррақларнинг гидравлик қаршилиги кам бўлади. Одатда турли марказдан қочма насослар учун  $\beta_2 = 14 \div 60^\circ$ ,  $\beta_1 = 20 \div 40^\circ$  бўлади, бундай шароитда суюқлик насосга зарбасиз киради ва бир текисда чиқади.

Иш гилдиракнинг айланишлар сони  $n$  ўзгармас бўлганда насос иш унумдорлиги  $Q$  нинг босим  $H$ , насоснинг ўз қуввати  $N$  ва фойдали иш коэффициенти  $\eta$  билан график усулдаги боғлиқлиги



5.4- расм. Марказдан қочма насоснинг иш характеристикаси.



5.5- расм. Марказдан қочма насоснинг универсал характеристикаси.

насосларнинг характеристикалари деб юритилади (5.4- расм). Бундай график боғлиқликлар марказдан қочма насосларни текшириш пайтида тузилади. Бунда ҳайдаш линиясидаги задвижканинг очилиши ҳар хил қилиб олинади. Задвижка берк бўлганда (яъни  $Q=0$ ) насос оладиган минимал қувват унинг салт ишлашига мос келади. Бундай шароитда фойдали иш коэффиценти ҳам  $\eta=0$  бўлади, чунки насос суюқликни узатишга оид фойдали иш бажармайди, салт ишлаш қуввати эса насосдаги барча ишқаланишлар (подшипниклардаги ва ўқ зичлақчиларидаги ишқаланишлар, насос қобигини тўлдирувчи суюқликнинг насос паррагига ишқаланиши ва бошқалар) таъсирида вужудга келадиган механик исрофларни қоплашга сарфланади.

Иш унумдорлигини задвижкани очиш билан кўпайтирсак, насоснинг босими камайиб, насос оладиган қувват ортиб боради ва фойдали иш коэффиценти максимал қийматга эга бўлади. Бу ҳол шуни кўрсатадики, айланиш ғилдирагининг тезлиги ўзгармас бўлганда, насоснинг характеристикасидан фойдаланиб энергиядан энг тежамли фойдаланиш режимини топиш мумкин.

Насоснинг турли режимда ишлаш қобилиятини универсал характеристикадан аниқлаш кулай. Иш ғилдирагининг айланиш сони ( $n$  айл/мин) ҳар хил бўлганда босим ( $H$ ,  $m$ ), фойдали иш коэффиценти ( $\eta$ , %) ва иш унумдорлиги ( $Q$ ,  $m^3/s$ ) ўртасидаги боғлиқлик насоснинг универсал характеристикаси деб аталади (5.5.- расм)

Бундай характеристикани ҳосил қилиш учун турли айланиш сони ( $n_1, n_2, n_3, \dots$ ) да  $Q$  учун характеристика тузамиз. Сўнгра бу характеристикаларда бирор фойдали иш коэффицентига тегишли нуқталарни ажратамиз (5.5- расмдан кўринадики, битта фикнинг қиймати учун иккита босим миқдори тўғри келади). Бу нуқталарни туташ чизик билан бирлаштирамиз. Шу ишни бир қанча фик ( $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ ) лар учун такрорлаб, бир қанча туташ чизиклар оламиз. Бу чизиклар билан чегараланган соҳада фик чизикдаги қийматдан кичик бўлмайди. 0—85 % чизиги берилган айланиш сонларида максимал фик га тўғри келади.

Универсал характеристикадан фойдаланиб, насоснинг (максимал фик га тегишли) ишлаш чегарасини топиш ва унинг ишлаши учун энг қулай режим танлаш мумкин. Насосларнинг характеристикалари тегишли каталогларда келтирилади.

Насос двигателининг истеъмол қиладиган қуввати ( $N$ , квт) куйидаги тенглама билан аниқланади:

$$N = \frac{Q \rho g H}{10^3 \eta} \quad (5.14)$$

бу ерда  $Q$  — насоснинг ҳажмий иш унумдорлиги,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho$  — узатилаётган суюқликнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $H$  — насосда ҳосил бўлган босим, м суюқлик устуни;  $\eta$  — насос қурилмасининг умумий фойдали иш коэффициентини.

Насос қурилмасини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватни аниқлашда қувватнинг запаси коэффициентини ҳисобга олинади:

$$N_{\text{впр}} = \beta N, \quad (5.15)$$

бу ерда  $\beta$  — қувватнинг запас коэффициенти.

Қувватнинг запас коэффициенти  $N$  нинг қийматига кўра танлаб олинади (5.2- жадвал)

5. 2- ж а д в а л. Қувват запас коэффициентининг қийматлари

Насос двигателининг истеъмол қиладиган қуввати, квт	1	1,5	5—50	50
Қувватнинг запас коэффициенти	2—1,5	1,5—1,2	1,2—1,15	1,1

**Пропорционаллик қонуни.** Филдиракнинг айланишлар частотаси ўзгарганда насоснинг иш унумдорлиги, босими ва насос истеъмол қиладиган қувват ўзгаради. Филдиракнинг бир минутдаги максимал айланишлар частотаси  $n_1$  дан  $n_2$  га қадар оширилса, насоснинг иш унумдорлиги  $Q_2$  ҳам  $Q_1$  иш унумдорлигига нисбатан пропорционал равишда ортади:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.16)$$

Суюқликнинг тегишли  $H_1$  ва  $H_2$  босимлари айланишлар частотасининг квадратлари нисбатига пропорционал:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (5.17)$$

Насос истеъмол қиладиган қувват  $N$  суюқлик сарфи  $Q$  нинг суюқлик босими  $H$  га кўпайтмасига пропорционал бўлганлиги сабабли, филдиракнинг бир минутдаги айланишлар частотаси турлича бўлгандаги насоснинг оладиган қуввати  $N_1$  ва  $N_2$  бир минутдаги айланишлар частотасининг кублари нисбатига пропорционал бўлади

$$\frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (5.18)$$

Демак, насос гилдирагининг айланишлар частотаси ортиши билан унинг иш унумдорлиги биринчи даражада, талаб қилинадиган қувват эса учинчи даражада ошади. Аммо амалда пропорционаллик қонуни гилдирак айланишлар частотасининг икки мартадан кам ўзгарган шароитдагина ўз кучини сақлайди.

**Кавитация ҳодисаси.** Насос гилдирагининг тез айланишида ва иссик суюқликлар марказда қочма насослар ёрдамида узатилганда кавитация ҳодисаси юз беради. Бу вақтда насосдаги суюқлик тез бугланади. Ҳосил бўлган буг суюқлик билан юқори босимли зонага ўтиб тезда конденсланади. Натижада насос қобигида катта бўшлиқ ҳосил бўлади, насос қаттиқ силкинади ва тақиллаб ишлайди. Насос кавитация режимида кўпроқ ишласа у тезда бузилади. Шунинг учун температураси юқори бўлган суюқликларни узатаётганда бу ҳодиса кўшимча кавитацион коэффицент билан ҳисобга олиниши керак.

Кавитация оқибатида насоснинг иш унумдорлиги, босими ва фойдали иш коэффиценти камаяди. Кавитация ҳодисасининг олдини олиш учун иш гилдирагининг айланиш сонини камайтириш керак. Кавитация таъсирида насос сўриш баландлигининг камайиши (ёки кавитацион коэффицент) ни қуйидаги тенглама орқали аниқласа бўлади:

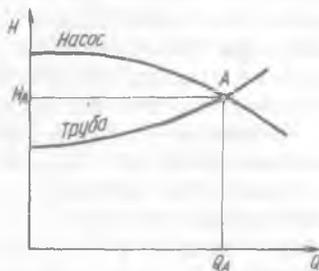
$$h_{\text{кав}} = 0,00125(Qn^2)^{0,67} \quad (5.19)$$

(5.19) тенгламадан кўриниб турибдики, кавитацион коэффицентнинг қиймати насоснинг иш унумдорлиги ва айланиш частотасининг сонига боғлиқ экан.

**Насоснинг иш нуқтаси.** Насосни танлашда суюқлик узатилаётган трубаларнинг ёки система тармоқларининг характеристикалари эътиборга олинади. Трубкаларнинг характеристикаси суюқлик сарфи билан унинг трубаларидаги ҳаракати учун керак бўладиган босим орасидаги боғланишни ифодалайди.

Насос ва трубанинг ўзаро боғланиш характеристикаси 5.6- расмда кўрсатилган. Иккала характеристиканинг кесишган нуқтаси А, насоснинг иш нуқтаси дейилади. Бу нуқтада насос шу труба тармоғида энг юқори унумдорликка эга бўлади. Бундан ҳам юқорироқ унумдорликка эришиш учун гилдиракларнинг айланишлар частотасини кўпайтириш ёки трубадаги гидравлик қаршиликларни камайтириш керак. Бу вақтда насоснинг иш нуқтаси насос характеристикасининг графигида ўнг томонга сурилади. Танланган насоснинг иш нуқтаси талаб қилинадиган унумдорлик ва босимга мос бўлиши зарур.

5.6- расмдан маълумки, берилган труба учун насоснинг иш унумдорлиги  $Q_A$  ва босими эса  $H_A$  га тенг бўлади. Агар  $Q_A$  нинг қиймати оши-



5.6- расм. Насос ва трубанинг ўзаро боғланиш характеристикаси.

рилса трубининг гидравлик қаршилиги кўпайиб кетади ва натижада  $Q$  нинг миқдори камаяди.

**Марказдан қочма насосларни бошқариш.** Насосларнинг иш унумдорлигини уларнинг айланиш частотасини ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин. Аммо бу усулдан ўзгарувчан ток билан ишлайдиган асинхрон электр двигател бўлганда фойдаланиш мумкин эмас. Амалиётда насоснинг иш унумдорлиги ҳайдаш трубасида ўрнатилган задвижка ёрдамида ўзгартирилади. Марказдан қочма насослар ўзини ўзи бошқариш қобилиятига эга, яъни ҳайдаш трубкасидаги қаршилиқларнинг кўпайиб ёки камайишига кўра уларнинг иш режимлари ўзгариб боради.

Насосларнинг иш унумдорлигини ошириш учун уларни параллел, агар босимини кўтариш керак бўлса (айниқса  $Q$  нинг қиймати кам бўлганда) — кетма-кет улаш мақсадга мувофиқ бўлади. Қамчилиги: насосни ишлатиш учун олдидан иш ғилдирақларини суюқлик билан тўлдириш керак, фойдали иш коэффициенти юқори эмас ( $\eta = 0,6 \div 0,7$ ).

Марказдан қочма насослар бир қатор афзалликларга эга: 1) мустаҳкам ва узок вақт ишлатиш мумкин; 2) суюқлик узлуксиз ва бир меъёردа узатилади; 3) иш унумдорлиги юқори; 4) ишлатиш қулай; 5) вази энгил ва ўлчамлари кичкина; 6) поршенли насосларга нисбатан арзон; 7) ҳамма қисмлари қуйма шаклда оддий тайёрланган; 8) унумдорлигини ҳайдаш трубасидаги силжитувчи механизм ёрдамида ўзгартириш мумкин. Ана шу афзалликлар сабабли марказдан қочма насослар халқ хўжалигининг барча тармоқларида ишлатилади.

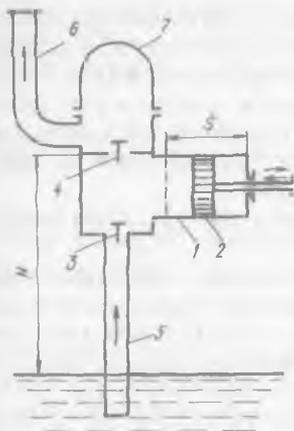
#### 5.4-§. ПОРШЕНЛИ НАСОСЛАР

**Ишлаш принципи.** Поршенли насосларда суюқлик ҳайдаш трубасига илгарилама-қайтма ҳаракат қилувчи механизмлар орқали узатилади. Поршенли насослар воситасида ҳар қандай қовушқликдаги суюқликларни узатиш мумкин. Поршенли насослардан оз миқдордаги суюқликларни юқори босимда узатишда ва суюқлик сарфи ўзгармас бўлиб, босим кескин ўзгарадиган ҳолларда фойдаланиш қулай. Бу насосларда поршень насос қобигида горизонтал ва вертикал ҳолатда жойлашган бўлиши мумкин. Ишлаш принципига кўра поршенли насослар оддий, икки босқичли ва кўп босқичли бўлади.

Поршень суюқликни фақат олд томони билан сиқиб чиқарадиган насос *оддий* — *бир томонлама ишлайдиган насос* дейилади.

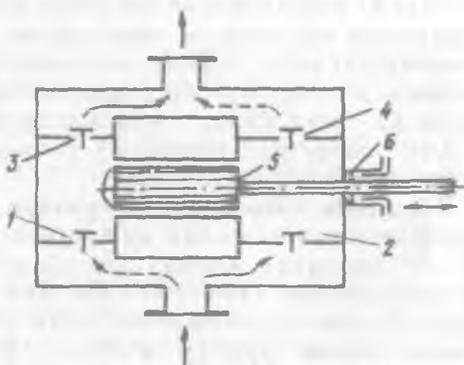
Агар насос цилиндрида поршеннинг иккала томонида жойлашган иш камераси бўлса ва поршень улардан суюқликни кетма-кет сиқиб чиқарса, бундай насос икки босқичли ёки икки томонлама ишлайдиган насос дейилади.

Оддий поршенли насоснинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (5.7- расм). Насос поршени сўриш жараёнида ўнг томонга ҳаракат қилганда иш камерасининг ҳажми катталашади. Ундаги босим эса



5.7- рasm. Поршенли насос:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — сўриш клапани; 4 — ҳайдаш клапани; 5 — сўриш трубаси; 6 — ҳайдаш трубаси; 7 — ҳаво қалпоқчаси.



5.8- рasm. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос:

1, 2 — сўрувчи клапанлар; 3, 4 — узатувчи клапанлар; 5 — плунжер; 6 — салъик.

камаяди ва атмосфера босимидан кичик бўлиб қолади. Пастки резервуардаги (насос суюқликни сўриб оладиган бассейндаги) суюқликнинг эркин сирти атмосфера босими  $P$  таъсирида бўлади. Атмосфера босими билан пасайтирилган босим  $P_1$  орасидаги фарқ таъсирида цилиндрнинг иш камерасида сийракланиш вужудга келади ва суюқлик резервуардан сўриш трубаси бўйлаб цилиндрга кўтарилади ҳамда сўриш клапанини очиб, насоснинг иш камераси бўшлигини тўлдиради. Поршен ўнг чекка ҳолатни эгаллагач, суюқлик иш камерасини тўлдиради ва сўриш клапанини беркитади. Поршеннинг чапдан ўнгга томон тесқари ҳаракатида поршен ва иш камераси бўшлигини тўлдирувчи суюқликка босим беради ва уни ҳайдаш клапани орқали узатиш трубасига чиқариб беради.

Суюқликнинг ҳаракат тезлиги ва босимларнинг пульсацияланишини тенглаштириш ҳамда суюқликнинг сўриш ва ҳайдаш трубаларида бир меъёрда текис оқишини таъминлаш учун насосга махсус қурилма (ҳаво қалпоқчалари) ўрнатилади.

5.6- рasmда икки томонлама ишлайдиган горизонтал плунжерли насоснинг схемаси кўрсатилган. Бундай насос цилиндрнинг иккала томонида тегишлича сўриш ҳамда ҳайдаш клапанлари бўлган иккита мустақил иш камераси бор. Плунжер ўнг томонга қараб ҳаракатланганида суюқлик клапан орқали чап камерага сўрилади. Бир вақтнинг ўзида плунжер иккинчи ўнг камерада суюқликни клапан орқали сиқиб чиқаради. Плунжер чап томонга қараб ҳаракатланганида ўнг камерада сўрилиш, чап камерада эса ҳайдалиш жараёнлари юз беради.

Поршенли насосларда цилиндр орасидан суюқлик сиқиб чиқмаслиги учун поршеннинг ён сиртига металл ёки резинадан

ишланган зичлаш ҳалқалари ўрнатилади: улар цилиндрнинг ички деворига зич ёпишиб туради. Плунжер эса зичлаш халқаларига эга эмас ва узунлигининг диаметрига нисбати анча катта бўлади. Плунжерли насосларда цилиндрнинг ички юзаси жуда силлик бўлиши шарт эмас. Плунжерли насослар ёрдамида ифлосланган ва ковушоклиги кўп бўлган суюқликларни узатиш учун ва юқори босимлар ҳосил қилиш учун ишлатилади.

Кимё саноатида поршенли насосларга нисбатан плунжерли насослар кўпроқ ишлатилади.

**Поршенли насосларнинг турлари.** Валнинг айланиш сонига кўра поршенли насослар уч турга бўлинади: секин ишлайдиган (40—60 айл/мин); нормал ишлайдиган ( $n=60—120$  айл/мин); тез ишлайдиган ( $n=120—180$  айл мин ва ундан кўп). Иш унумдорлигининг қийматиға кўра поршенли насослар уч хил бўлади: кичик ( $Q < 15$  м<sup>3</sup>/соат); ўрта ( $Q = 15 ÷ 60$  м<sup>3</sup>/соат); катта ( $60 < Q < 150$  м<sup>3</sup>/соат). Босимнинг қийматиға кўра ҳам поршенли насослар уч турга бўлинади: паст босимли ( $P < 1$  МПа); ўртача босимли ( $P = 1 ÷ 2$  МПа); юқори босимли ( $P > 2$  МПа).

**Насоснинг иш унумдорлиги.** Поршеннинг бир марта бориб келиш вақти бирлиги ичида насос узатиб берган суюқлик миқдори поршенли насоснинг иш унумдорлиги ёки, бошқача айтганда, узатилиши дейилади.

Бир томонлама ишлайдиган поршенли насоснинг ўртача назарий иш унумдорлиги ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$Q = F \cdot Sn, \quad (5.20)$$

бу ерда  $F$  — поршеннинг (ёки плунжернинг) кўндаланг кесим юзаси, м<sup>2</sup>;  $S$  — поршен йўли, м;  $n$  — кривошип — шатунли механизмнинг айланиш частотаси, айл/с.

Икки томонлама ишлайдиган поршенли насоснинг ўртача назарий иш унумдорлиги:

$$Q = [FS + (F - f)S]n = (2F - f)Sn,$$

бу ерда  $f$  — шток кўндаланг кесимининг юзаси, м<sup>2</sup>.

Шток кўндаланг кесимининг юзаси  $2F$  га нисбатан анча кичиклигини ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$Q = 2FSn. \quad (5.21)$$

Поршенли насоснинг ҳақиқий иш унумдорлиги  $Q_x$  назарий иш унумдорликка нисбатан кам бўлади. Оддий бир босқичли поршенли насос учун:

$$Q_x = \eta_v FSn, \quad (5.22)$$

бу ерда  $\eta_v$  — узатиш коэффиценти.

Узатиш коэффиценти суюқликнинг насосдан клапанлар ва бошқа зичмас жойлар орқали сизиб чиқишини, шунингдек, камерага ҳайдалаётган суюқлик билан ҳаво ўтиб, унинг тўлдири-

лишини камайтиришни ҳисобга олади. Бу коэффициентнинг қиймати ўрта ҳисобда  $0,8 \div 0,9$  оралигида ўзгаради.

Икки босқичли поршенли насос учун:

$$Q_x = 2\eta_v F S n. \quad (5.23)$$

Кўп босқичли насослар учун:

$$Q_x = i\eta_v F S n. \quad (5.24)$$

Агар валнинг айланиш частотаси айл/мин бўйича берилган бўлса, у ҳолда:

$$Q_x = 60i\eta_v F S n. \quad (5.25)$$

Поршенли насослар қуйидаги афзалликларга эга: иш унумдорлиги юзага чиқаётган босимга боғлиқ эмас; юқори босимда ишлаши мумкин; оз миқдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш имконияти бор; фойдали иш коэффициенти юқори ( $0,6 \div 0,9$ ).

Шу билан бирга поршенли насослар айрим камчиликларга ҳам эга: конструкцияси кўпол ва кўп жойни эгаллайди. Поршеннинг илгарилама қайтма ҳаракати сабабли оғир фундамент талаб қилади; ремонт талаб қилувчи бир неча клапанларнинг бўлишлиги; сўриш ва узатиш жараёнлари бир меъёردа бормайди.

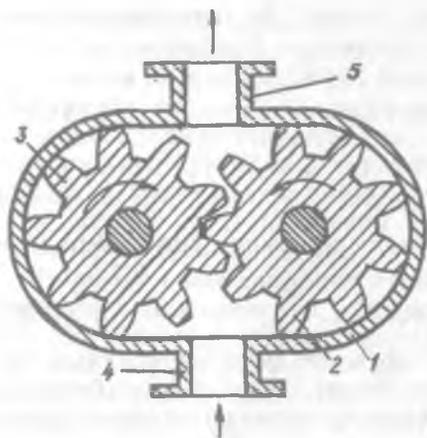
#### 5.5-§. БОШҚА ТУРДАГИ НАСОСЛАР

Ишлаб чиқаришда суюқликларни узатиш учун марказдан кочма ва поршенли насослардан ташқари махсус насослар ҳам ишлатилади. Махсус насослар қовушоқлиги юқори бўлган, жуда ифлосланган, чуқур қудуқдаги суюқликларни узатиш учун қўлланилади. Махсус насослар сифатида роторли (тишли, пластинали, винтли), уюрмали, оқимли, пропеллерли насослар, эрлифтлар ва монтежюлар ишлатилади.

Қовушоқлиги жуда юқори, ифлосланган ва узатилиши қийин бўлган суюқликларни узатиш учун роторли насослардан фойдаланилади. Бу насосларда суюқлик айланувчи механизмлар ҳаракати воситасида узатилади. Роторли насослар поршенли насослардан клапан ва ҳаво қалпоқчаларининг йўқлиги билан фарқланади.

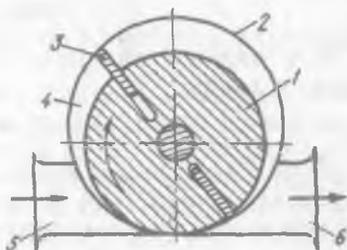
**Тишли (шестерняли) насослар.** Саноатда кўпинча тишли насослар ишлатилади. Насос қобигида ўзаро илашган ҳолатдаги узлуксиз айланиб турувчи шестернялар жуфти жойлашган (5.9-расм). Шестернялар айланганида бир шестернянинг ҳар қайси тиши илашган ҳолатдан чиқиб, иккинчи шестернянинг чуқурчасидаги тегишли ҳажми бўшатади. Йиғич резервуаридаги атмосфера босими таъсирида суюқлик бўшаган ҳажмга сўрилади. Шестерняларнинг кейинги айланишида тишлар орасидаги суюқлик тишлар билан биргаликда сўриш соҳасидан хайдаш соҳасига ўтади.

Шестерняларнинг тишлари яна қайтадан илашган пайтда иккала шестернянинг тишлари орасидаги чуқурчаларни тўлдирган



5.9- рasm. Шестерняли насос:

1 — қобик; 2, 3 — бир-бирига илашган тишли шестернялар; 4 — сүрүвчи патрубк; 5 — хайдаш патрубкиси.



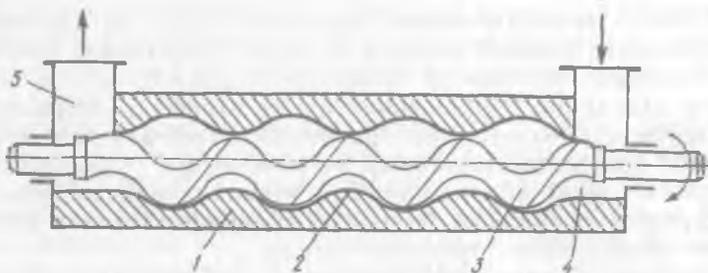
5.10- рasm. Пластинкали насос:

1 — ротор; 2 — қобик; 3 — пластиналар; 4 — бушлик; 5 — сүрүвчи патрубк; 6 — узатувчи патрубк.

суюқлик сиқиб чиқарилади ва хайдаш трубасига ўтади. Шестерняли насослар катта айланишлар частотасида (3000 айл/мин гача) ишлай олади, шунинг учун уларни тез айланадиган двигателнинг валига бевосита улаш мумкин. Улар тузилишининг соддалиги, ишончли ишлаши, ўлчамларининг кичиклиги ва арзонлиги билан бошқа насослардан ажралиб туради. Шунинг учун шестерняли насослар амалда кенг ишлатилади.

**Пластинали насослар.** Бу насосларнинг ҳам ишлаш принципи поршенли насослар каби иш бўшлиғи ҳажмининг камайишига асосланган. Бу насос катта цилиндрдан иборат бўлиб, унинг кенглиги бўйича эксцентрик равишда ротор жойлашган (5.10-рasm). Цилиндрнинг ичидаги қобикга тўғри бурчакли пластиналар ўрнатилган. Роторнинг айланиши натижасида бу пластиналар марказдан қочма куч таъсирида цилиндрнинг ички юзасига маҳкам зичланиб, ўроқсимон иш бўшлиғини қобик ва ротор орасидаги камераларга ажратиб туради.

Пластиналар сўрүвчи патрубкадан насоснинг вертикал ўқиға томон ҳаракатланганда ҳар бир камеранинг ҳажми кенгайди, натижада камерада сийракланиш ҳосил бўлиб, сўриш патрубкиси орқали суюқлик сўрилади. Пластиналар вертикал ўқдан ротор йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилганда камераларнинг ҳажми кичиклашади ва суюқлик насосдан сиқиб чиқарилиб, узатиш трубасига берилади. Ротор айланиши натижасида пластиналар вертикал ўққа томон ҳаракатланганда жараён яна такрорланади. Пластинали роторли насослар тоза ҳолдаги, ковушоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.



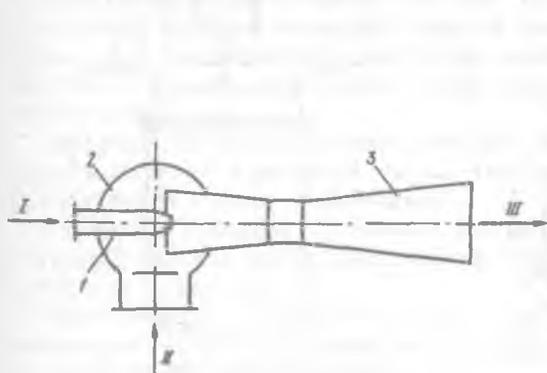
5.11- расм. Винтли насос:

1- кобик; 2- цилиндр; 3- винт; 4- сўриш бўшлиғи; 5 — хайдаш патрубкиси.

**Винтли насослар.** Бу насослар шестерняли насослар сингари ишлайди. Суюқлик сўриш соҳасидан винт ўйиқларининг ўлчамлари ўртасидаги ораликқа киради ва винтларнинг айланиш ўқи йўналиши бўйича хайдаш соҳасига ўтади (5.11- расм). Винтли насос суюқликни бир меъёрда узатади. Насоснинг вали бевосита двигателнинг валига бириктирилади.

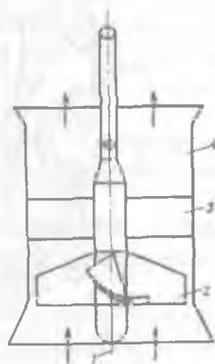
Ўзатилаётган суюқлик миқдорини ошириш учун икки ва уч винтли насослар ишлатилади. Бу насослар ҳам ковшоқлиги юқори бўлган суюқликларни ўзатиш учун ишлатилади.

**Ингичка оқимли насослар.** Бундай насосларда суюқликларни ўзатиш учун иш муҳити сифатида — суюқликлар, газ ва буг ишлатилади. Ингичка оқимли насослардан ўзатилаётган суюқликларни газ, буг ва конденсат билан аралашиб кетиши мумкин бўлган ҳолатлардагина фойдаланилади. Ушбу насослар суюқликларни хайдаш учун ишлатилса *инжектор*, уларни сўриб олиш мақсадида ишлатилса *эжектор* деб аталади.



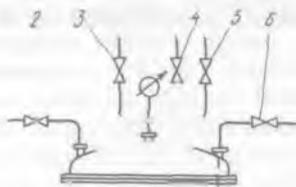
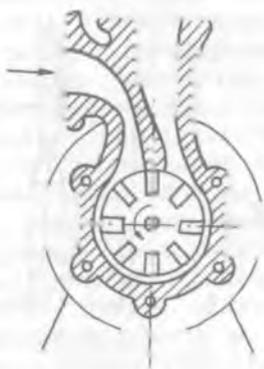
5.12- расм. Ингичка оқимли насос:

1 — соплю; 2 — иш ва ўзатилаётган суюқликларни аралаштириш камераси; 3 — хайдаш трубаси; 4 — иш суюқлик оқими; II — ўзатилаётган суюқлик оқими; III — аралашма.



5.13- расм. Пропеллерли насос:

1 — вал; 2 — куракчалар; 3 — йўналтирувчи қисм; 4 — хайдаш патрубкиси.



Ўқли насосларнинг характеристикаси марказдан қочма насосларнинг характеристикасидан фарк қилади: бундай насосларнинг унумдорлиги  $Q=0$  бўлганда истеъмол қиладиган қуввати максимумага етади.

**Уюрмали насослар.** Бундай насосларда қобик билан иш қилдираги ўртасидаги тиркиш жуда кичик бўлади (0,2 мм). Уюрмали насослар (5.14-расм) таркибида абразив моддаларни ушламаган ва температураси  $85^{\circ}\text{C}$  дан кам бўлган сув ва бошқа суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Кимё саноатида ВС ва ВК маркали уюрмали насослар ишлатилади. Бундай насосларнинг иш унумдорлиги кичик бўлиб ( $2 \div 40 \text{ м}^3 \text{ соат}$ ), босими эса анча катта бўлади ( $12 \div 250 \text{ м}$  суюқлик устуни). Бир хил ўлчамга эга бўлган марказдан қочма насосларга нисбатан уюрмали насосларда ҳосил бўлган босим қиймати 2—5 баробар каттадир.

**Монтежю.** Ифлосланган, агрессив ва радиоактив суюқларни сиқилган ҳаво ёки инерт газларнинг энергияси ёрдамида унча юқори бўлмаган баландликка узатиш учун монтежю ишлатилади. Монтежю горизонтал ёки вертикал цилиндрсимон резервуардан иборат. У қопқоқ ёрдамида зич ёпилган бўлиб (5.15-расм), қопқоққа учта патрубкка ўрнатилади. Бу патрубккалар ёрдамида монтежюга узатилаётган суюқлик, сиқилган ҳаво берилади. Учинчи патрубкка эса монтежю ичидаги узатувчи труба билан бириктирилади.

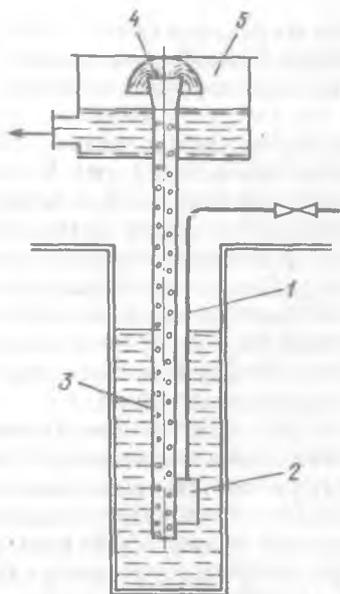
Монтежюга суюқлик труба орқали краннинг очик ҳолатида атмосфера босими остида берилса, ҳаво крани очик бўлиши керак. Агар монтежюга суюқлик вакуум остида берилса, бунда монтежюдаги вакуум крани очик бўлиши керак. Монтежю суюқлик билан тўлдирилгандан кейин, суюқлик тушаётган ҳамда ҳаво ва вакуум линиялари билан уланган кранлар беркитилади. Суюқликни узатиш учун монтежюга кран орқали сиқилган ҳаво берилади ва унинг босими манометр орқали кузатиб турилади. Сиқилган ҳаво босими таъсирида суюқлик оралик ҳайдаш трубаси орқали юқорига кўтарилиб, очик кран орқали узатилади. Монтежюдаги суюқликни узатиб бўлгандан кейин сиқилган ҳаво берувчи ва узатувчи кранлар беркитилиб, ҳаво крани очилади ва жараён такрорланади.

Агар узатилаётган суюқликнинг буги ҳаво билан портловчан, алангаланувчан аралашма ҳосил қилса, бунда сиқилган ҳаво ўрнига инерт газлар ишлатилади.

Монтежю кўпинча суюқликни филтёр қурилмаларга узатиш учун ишлатилади, чунки суюқлик бир хил меъёрда ва гидравлик турткисиз узатилади.

Монтежюнинг тузилиши оддий, яшаш осон, ҳаракатланувчи қисмларининг йўқлиги сабабли коррозияга учрамайди, қурилма тез едирилиб ишдан чиқмайди.

**Эрлифтлар.** Бундай насослар катта чуқурликдаги суюқликларни сиқилган ҳаво ёки газ ёрдамида юқорига кўтариш ҳамда айрим қурилмалардаги модда алмашиниш жараёнларини тезлаштириш учун ишлатилади. Эрлифтлар (ҳаво ёрдамидаги кўтаргичлар)



5.16- расм. Эрлифт:

1 — ҳаво ёки газ бериладиган труба; 2 — газ тақсимлагич; 3 — кутариш трубаси; 4 — томчи ушлагич; 5 — суюқлик йиғиладиган идиш.

нинг ишлаши туташ идишларнинг ишлаш принципига асосланган. Эрлифт кутариш трубасидан, сиқилган ҳаво берувчи труба ва аралаштиргичдан иборат (5.16- расм). Труба орқали берилган сиқилган ҳаво аралаштиргичда суюқлик билан аралашиб, ҳосил бўлган суюқлик ва ҳаво аралашмасининг солиштирма огирлиги идиш ичидаги суюқликка нисбатан паст бўлгани учун, кутариш трубасида юқорига қараб кутарилади.

Суюқлик ва ҳаво аралашмаси кутариш трубасидан чиқаётганда ажраткичга урилиб, ҳаво ажралиб чиқиб кетади ва суюқлик йиғичга тушади.

Эрлифтлар ҳар хил суюқликларни, шу жумладан, кислота, ишқорларни юқорига кутариш учун ишлатилади. Эрлифтларнинг тузилиши оддий, ортиқча механизми ва ҳаракатлаувчи қисмлари йўқ. Бундан ташқари, эрлифтлар юқори температурада ҳам ишлайверади.

Эрлифтларнинг фик кичик ( $\eta = 0,25 \div 0,35$ ), унумдорлиги кам, сиқилган ҳаво бериш учун ортиқча компрессор қурилмалари талаб қилинади.

### 5.6- §. ГАЗ СИҚИШНИНГ ТЕРМОДИНАМИК АСОСЛАРИ

Газ сиқилиш жараёнида унинг ҳажми, босими ва температура-и ўзгаради. Бу учала катталиқнинг ўзаро боғланиши газнинг босими 1 мПа гача бўлган идеал газларнинг ҳолат тенгламаси билан ифодаланади. Юқори босимли газнинг ҳажми, босими ва температураси ўртасидаги боғланиш *Ван-дер-Ваальс тенгламаси* билан аниқланади:

$$\left(P + \frac{a}{b^2}\right)(v - b) = RT, \quad (5.26)$$

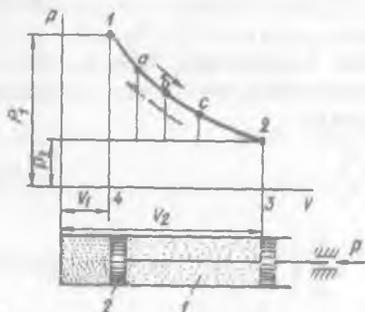
бу ерда:  $P$  — газ босими, Па,  $v$  — газнинг солиштирма ҳажми, м<sup>3</sup>/кг;  $R$  — 8310/М — газларнинг универсал константаси, ж (кг, К);  $M$  — газнинг моляр массаси, кг кмоль;  $T$  — температура, К.

$a$  ва  $b$  коэффициентларнинг миқдори махсус қўлланмаларда берилмаса, у критик температура  $T_{кр}$ , критик босим  $P_{кр}$  орқали қуйидагича топилади:

$$a = \frac{27R^2T_{кр}^2}{64P_{кр}}; \quad b = \frac{RT_{кр}}{8P_{кр}}.$$

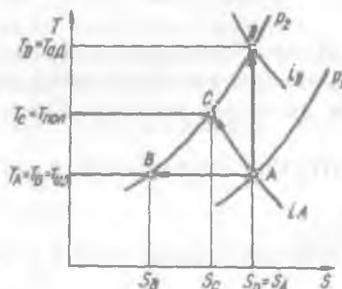
Газ ҳолатининг вақтнинг ҳар қайси пайтида ўзгариши  $PV$  диаграммада узлуксиз келадиган кетма-кет нуқталар билан ифодаланади, бу нуқталар босим ва ҳажмнинг вақтнинг тегишли моментларидаги ўртача қийматларини кўрсатади (5.17- расм). Бу нуқталарни бирлаштирувчи эгри чизиқ газнинг жараён бошланишидаги ва охиридаги мувозанат ҳолатини аниқ ифодалайди. Эгри чизиқнинг кўриниши жараённинг характериға боғлиқ. Бундай эгри чизиқ *термодинамик жараён эгри чизиғи* дейилади.

Газларни сиқиш натижасида унинг ҳажми, босими ўзгариши билан температураси кўтарилиб, иссиқлик ажралиб чиқади. Назарий жиҳатдан газ икки хил жараёнда сиқилади. Сиқиш вақтида ажралиб чиққан иссиқлик ташқи муҳитға тортиб олинса *изотермик*, агар фақат иситиш учун сарфланса *адиабатик жараён* дейилади.



5.17- расм. Газ ҳолатининг  $P - V$  диаграммаси:

1 — цилиндр; 2 — поршень.



5.18- расм. Газларни сиқиш жараёнининг  $T - S$  диаграммаси.

Изотермик жараёнда иссиқлик ажратиб олингани учун, газнинг ва жараённинг температураси ўзгармас бўлади. Адиабатик жараёнда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинмайди. Ҳақиқатда эса сиқиш вақтида ажралган иссиқликнинг бир қисми ташқи муҳитға тарқалади ва қолган қисми газни иситишға сарфланади. Газ политропик жараёнда сиқилади.

Газларни компрессорларда сиқиш жараёнларида бажарилган солиштирма ишнинг миқдори  $T - S$  диаграмма орқали аниқланади.  $T - S$  диаграммада ўзгармас босим ва температураға тўғри келган қийматлар горизонтал чизиқлар билан тасвирланган (5.18- расм). Диаграммада ордината ўқига абсолют температура ва абсцисса ўқига энтропиянинг қийматлари қўйилади.

Газни босимнинг  $P_1$  дан  $P_2$  гача ўзгаришидаги изотермик сиқиш жараёни  $T - S$  диаграммада  $AB$  чизиғи билан ифодаланади. 1 кг газни изотермик сиқишдаги ташқи муҳитға тортиб олиниши зарур бўлган иссиқликнинг миқдори  $q_{из}$  сон жиҳатидан изотермик сиқишдаги солиштирма ишнинг миқдори  $L_{из}$  га (Ж/кг) ҳисобида) тенг.  $q_{из}$  нинг қиймати диаграмма ёрдамида аниқланади:

$$q_{из} = L_{из} = T_A = T_A(S_A - S_B). \quad (5.27)$$

Адиабатик сиқиш жараёнида газ билан атроф-муҳит орасида иссиқлик алмашинмайди, яъни  $dQ=0$ ,  $dS=0$ . Бу жараёнда газ температураси кўтарилиб, АД вертикал чизиқ билан ифодаланади. 1 кг газни  $P_1$  дан  $P_2$  гача адиабатик сиқиш пайтида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори солиштирма ишнинг қийматиغا тенг бўлиб, диаграмма ёрдамида қуйидагича топилади:

$$q_{ад} = L_{ад} = C_v(T_1 - T_2) \quad (5.28)$$

Политропик жараёндаги газ  $P_1$  босимдан  $P_2$  гача сиқилганда  $T-S$  диаграммада АС чизиқ билан ифодаланади. Бунда солиштирма ишнинг миқдори политропик жараёнида 1 кг газни сиқишда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг бўлади:

$$q_{пол} = L_{пол} = (S_A - S_C) \frac{T_A + T_C}{2} + C_p(T_C - T_A) \quad (5.29)$$

Агар босимнинг охирги қиймати  $P_2$  маълум бўлса, сиқиш жараёнидаги солиштирма ишнинг миқдорини аналитик усул билан ҳам аниқлаш мумкин. Бундай шароитда:

$$\text{изотермик сиқиш учун } L_{из} = P_1 v_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (5.30)$$

$$\text{адиабатик сиқиш учун } L_{ад} = \frac{R}{R-1} P_1 v_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}} - 1 \right] \quad (5.31)$$

$$\text{политропик сиқиш учун } L_{пол} = \frac{m}{m-1} P_1 v_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (5.32)$$

(5.30) — (5.32) тенгламаларда:  $P_1$  ва  $P_2$  — газнинг дастлабки ва охирги босими, Па;  $v_1$  — бошлангич шароитлардаги (босим  $P_1$  ва температура  $T_1$  бўлганда) газнинг солиштирма ҳажми, м<sup>3</sup>/кг;

$R = \frac{C_p}{C_v}$  — адиабата кўрсаткичи;  $C_p$  ва  $C_v$  — ўзгармас босим ва ҳажмдаги газнинг иссиқлик сиғими, ж/кг. К;  $m$  — политропик кўрсаткич.

Политропик кўрсаткичнинг қиймати газнинг хоссаларига ва атроф муҳит билан иссиқлик алмашиниш шартларига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳавони совитиш учун сув ишлатиладиган компрессорлар учун тахминан  $m=1,35$  деб олиш мумкин. Совитилмайдиган компрессорларда сиқиш жараёни адиабатик ёки политермик шароитда бориши мумкин, бундай ҳолат учун  $m > k$ .

Газларни изотермик сиқишда энг кам иш бажарилади, шу сабабдан ҳақиқий сиқиш жараёнини изотермик жараёнга яқин бўлган шароитда олиб борилади. Бунинг учун сиқиш жараёнида ажралиб чиққан иссиқлик газни совитиш орқали тортиб олинади. Сиқидан кейинги газнинг температураси  $T_2$ :

$$\text{изотермик жараён учун } T_2 = T_1 \quad (5.33)$$

$$\text{адибатиқ жараён учун } T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}}, \quad (5.34)$$

$$\text{политропик жараён учун } T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}}. \quad (5.35)$$

Ҳавони компрессор билан сиқиш учун сарфланадиган назарий қувват ( $N_n$ ,  $B_n$ ) қуйидаги тенглама билан аниқланади

$$N_n = V \rho L, \quad (5.36)$$

бу ерда:  $V$  — компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho$  — газнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $L$  — газни сиқиш учун сарфланган солиштирма ишнинг миқдори,  $\text{Ж}/\text{кг}$ ;  $L$  нинг қийматини (5.30), (5.31) ёки (5.32) тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин.

Агар компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги ва газнинг зичлиги сўриш шароитига келтирилган бўлса (яъни  $V = V_1$ ,  $\rho = \rho_1 = \frac{1}{v_1}$ ) у ҳолда (5.30) — (5.32) тенгламаларга асосан қуйидагиларга эришамиз:

$$N_{\text{из}} = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}, \quad (5.37)$$

$$N_{\text{из}} = \frac{R}{R-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}} - 1 \right], \quad (5.38)$$

$$N_{\text{из}} = \frac{m}{m-1} P_1 V_1 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right]. \quad (5.39)$$

Компрессорнинг валидаги қувват қуйидаги тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$N_c = \frac{N_{\text{из}}}{\eta_{\text{из}} \eta_{\text{мех}}}, \quad (5.40)$$

бу ерда:  $\eta_{\text{из}}$  — изотермик фик;  $\eta_{\text{мех}}$  — механик фик.

Компрессор двигателининг қуввати қуйидагича аниқланади:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_c}{\eta_{\text{уз}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (5.41)$$

бу ерда:  $\eta_{\text{уз}}$  — узатиш фик;  $\eta_{\text{дв}}$  — двигателнинг фик.

Двигателни ўрнатиш учун одатда  $10 \div 15\%$  запас энергия олинади:

$$N_{\text{урн}} = (1,1 \div 1,15) N_{\text{дв}} \quad (5.42)$$

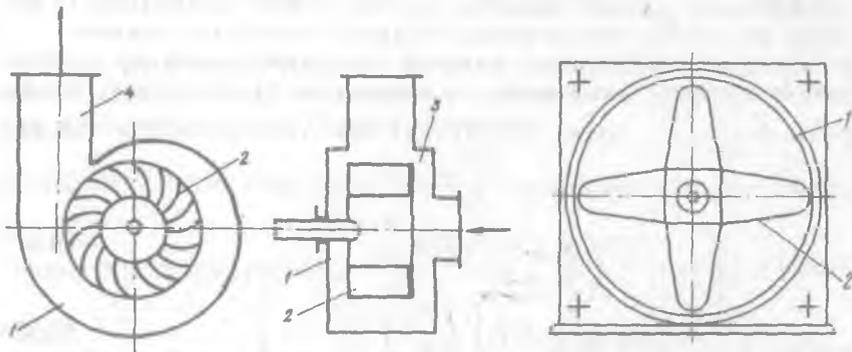
Изотермик фик сиқиш даражасига кўра  $0,64 \div 0,78$ , механик фик эса  $0,85 \div 0,95$  оралигида ўзгаради.

## 5.7-§. ВЕНТИЛЯТОРЛАР

Ҳаво ва саноат газлари оқимини сиқиш даражаси кичик бўлганда (тахминан 1,1 гача) узатиш учун марказдан қочма ва ўқли вентилятор ишлатилади.

Вентилятор газни нисбатан юқори босимда узатиб бериш учун, ўқли вентилятор эса кичик босимда, лекин кўп миқдордаги газни узатиш учун мўлжалланган. Саноатда ўқли вентилятор жуда кам ишлатилади, ундан фақат биноларни совитишда фойдаланилади.

Саноатда газларни узатиш учун асосан марказдан қочма вентилятордан фойдаланилади. Бу вентилятор босимининг катталигига қараб уч гуруҳга бўлинади: 1) паст босимли — 981 Па гача; 2) ўрта босимли — 981—2940 Па; 3) юқори босимли — 2940—11700 Па.



5.19- расм. Марказдан қочма вентилятор: 1 — қобик; 2 — иш ғилдираги; 3 — сўрувчи патрубк; 4 — узатувчи патрубк. 5.20- расм. Ўқли вентилятор: 1- қобик; 2 — куракчали ғилдирак.

Марказдан қочма вентиляторнинг асосий қисми паррақлар ва спиралсимон қобик ичига жойлаштирилган иш паррақлари бор ғилдиракдир (5.19- расм). Марказдан қочма вентилятор марказдан қочма насосга ўхшаб ишлайди. Иш ғилдираги айланганда вентиляторнинг иш бўшлиғидаги ҳаво ёки газ ғилдирак билан бирга айланади ва марказдан қочма куч таъсирида ғилдиракнинг чеккаларига ҳайдалади. Газ ғилдирак паррақларидан спиралсимон камерага ва ундан ҳайдаш трубасига ўтади. Газ ғилдирак паррақларидан ўтганда ғилдиракнинг марказий қисмида сийракланган босим вужудга келади ва газнинг янги қисми атмосфера босими таъсирида вентилятор қобиғидаги сўриш тешиги орқали ўтиб, паррақли ғилдиракнинг марказий қисмига киради. Сўнгра газ ғилдирак паррақларига урилади ва жараён шу тарзда давом этаверади.

Паст босимда ишлайдиган вентиляторда иш ғилдирагидаги паррақлар орқа томонга юқори босимда ишлайдиганларида эса олд томонга эгилган бўлади. Иш ғилдирагидаги паррақ сонини ўзгартириб паст босимли вентилятордан ўрта босимли вентилятор ҳосил қилиш мумкин.

Ўқли вентилятор иш гилдирагининг иккитадан то ўн олтигача куракчалари бўлади (5.20- расм). Куракчаларнинг шакли тайёра (самолёт)нинг пропеллерига ўхшайди. Ўқли вентилятор реверсив қобилятга (икки томонга қараб айланиши мумкин), ихчам ва нисбатан юқори фойдали иш коэффициентига (0,7—0,9) эга.

Ҳавони узатиш пайтида вентиляторда ҳосил бўлган босим ( $\Delta P$ , Па) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\Delta P = (P_2 - P_1) + \Delta P_c + \Delta P_x + \frac{\omega^2 \rho_x}{2}, \quad (5.43)$$

бу ерда:  $P_1$  — вентилятор ҳаво олаётган жойдаги босим, Па;  $P_2$  — вентилятор ҳаво узатаётган жойдаги босим, Па;  $\Delta P_c$  — сўриш линиясидаги босимнинг йўқолиши, Па;  $\Delta P_x$  — ҳайдаш линиясидаги босимнинг йўқолиши, Па;  $\omega$  — вентилятор тармогидаги чиқаётган ҳавонинг тезлиги, м/с;  $\rho_x$  — ҳавонинг зичлиги  $\text{кг/м}^3$ .

Агар вентилятор билан зичлиги ҳавонинг зичлигидан фарк қиладиган газ узатилса, у ҳолда (5.43) тенгламанинг ўнг томонига яна  $\Delta P_k$  қўшилади:

$$\Delta P_k = (\rho_r - \rho_x) z g, \quad (5.44)$$

бу ерда  $\Delta P_k$  — биринчи кесим юзасидан иккинчи кесим юзасига газни кўтариш учун сарфланган босим, Па;  $\rho_r$  — газнинг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $z$  — сўриш ва ҳайдаш баландликларининг нукталари ўртасидаги айирма, м.

Марказдан қочма вентиляторнинг хоссаси худди марказдан қочма насосниқига ўхшаш бўлади, шунингдек, булар насослар каби пропорционаллик қонунига бўйсунди. Вентилятор қурилмаси томонидан сарфланадиган қувват ( $N$ , кВт) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$N = \frac{Q \Delta P}{10^3 \eta} \quad (5.45)$$

бу ерда:  $Q$  — вентиляторнинг иш унумдорлиги,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\eta$  — вентилятор қурилмасининг умумий фойдали иш коэффициенти (0,6 ÷ 0,9);  $\Delta P$  — вентиляторда ҳосил бўлган босим, Па.

#### 5.8-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА КОМПРЕССОР ВА ГАЗОДУВКАЛАР

Газни нормал босимдан юқори босимгача сиқиш учун муўжалланган машина *компрессор* деб юритилади. Газ сиқилганда унга кинетик ва потенциал энергия берилади. Энергиядан фойдаланиш турига асосан компрессор иккита қатга гуруҳга бўлинади: 1) марказдан қочма, ўқли ва оқимчали компрессорлар; 2) поршенли ва ротацион компрессорлар. Компрессор қаторига вентилятор, газодувка вакуум-насослар ҳам қиради.

Ҳосил бўладиган босимнинг қийматига кўра компрессор машиналар қуйидаги турларга бўлинади: 1) паст босимли

(0,01 мПа гача) вентиляторлар; 2) ўрта босимли (0,01 дан 0,3 мПа гача) — газодувкалар 3) юқори босимли (0,3 мПа ва ундан катта) — компрессорлар; 4) вакуум-насослар (сийракланиш 0,05 мПа). Газодувка, вентилятор ва вакуум-насоснинг компрессор билан ўхшашлиги — умумий ишлаш принципига эга бўлишлигидир, бироқ уларнинг тузилишида анча фарк бор.

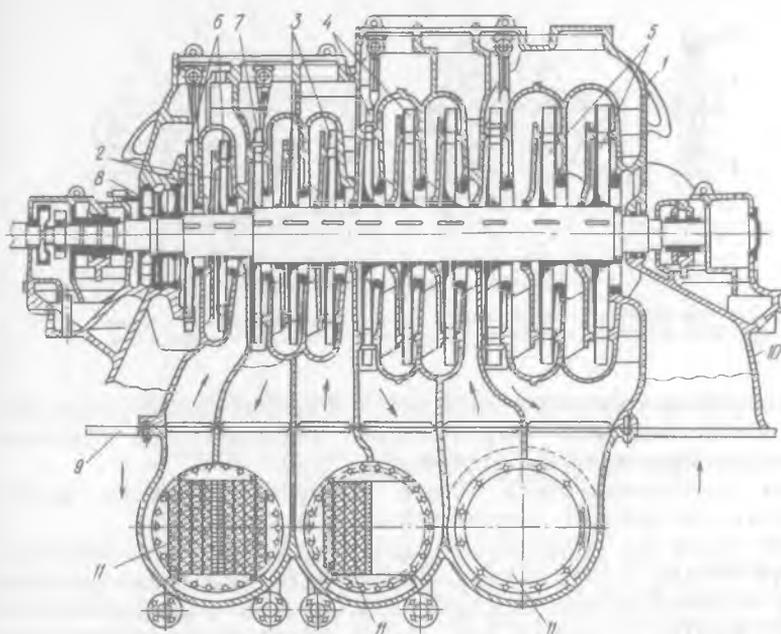
Марказдан қочма принципада ишлайдиган компрессор ва газодувка *турбокомпрессор* ва *турбогазодувка* деб аталади.

Турбокомпрессорнинг тузилиши турбинанинг тузилишига ўхшаш. Газни сиқиш жараёни компрессор гилдиракларининг парраклараро каналларида ва сўнгра, кўзгалмас каналларида (диффузорларда) содир бўлади. Иш гилдирагининг парракларида газнинг олган кинетик энергияси кўзгалмас каналларда тормозланиши натижасида сиқилган газнинг потенциал энергиясига айланади.

Ўқли турбинадаги каби ўқли турбокомпрессорда ҳам газнинг ҳаракат йўналиши ўқнинг айланиши билан мос тушади. Марказдан қочма компрессорда газ иш гилдирагида машина ўқиға перпендикуляр равишда марказдан четға қараб ҳаракатланади ва бу ерда марказдан қочма қуч таъсириға учрайди. Натижада марказдан қочма компрессор ҳосил қилган босимнинг кўтарилиш даражаси ўқли компрессордагига қараганда юқори бўлади.

Турбокомпрессор гилдираги айланишлар тезлигининг ортиши билан унинг сиқиш даражаси ҳам ортади. Лекин иш гилдираги айланишлар тезлигининг миқдори гилдирак материалининг мустаҳкамлиги туфайли чекланган бўлади ва шунга мувофиқ равишда бир босқичда сиқиш босимининг кўтарилиши ҳам чекланган. Шу сабабли газнинг юқори босимини ҳосил қилиш учун айланишлар частотаси йўл қўйилган қийматидан ортмайди, бунда кўп босқичли сиқиш усулидан фойдаланилади.

Кўп босқичли компрессорларда босқичлар сони ва шунга мувофиқ равишда иш гилдираклари сони газнинг берилган босими билан белгиланади. Сиқилган газнинг босими қанчалик юқори бўлса, босқичлар сони ва компрессорлар валиға тўғри келадиган иш гилдираклари сони ҳам тегишлича бўлади. Турбокомпрессорларда газлар юқори босимгача сиқилганда унинг температураси кўтарилиб, кўп миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Иссиқликнинг йўқолиши ва ташқи муҳит билан иссиқликнинг алмашилиши юз бермаса, бундай шароитда компрессор каналларида адиабатик жараён давом этади. Газнинг ҳамда турбокомпрессор қобиғи ва иш гилдиракларининг ўта қизиб кетишининг олдини олиш мақсадида қобиқ деворлари сув билан совитилади ва босқичлар орасиға совиткичлар ўрнатилади (5.21- расм). Оралиқ совиткичларда сиқилган газ турбокомпрессорнинг босқичидан иккинчи босқичиға ўтипида қўшимча совийди. Кўп босқичли насосларда гилдиракларнинг катталиги бир хил бўлса, турбокомпрессорларда сиқилган газ босимининг кўтарилиши билан гилдиракларнинг



5.21- расм. Кўп босқичли турбокомпрессор:

1 — кобик; 2, 3, 4, 5 — тўртинчидан то биринчи поғонагача бўлган иш ғилдираклари гуруҳи; 6 — кузгалмас йўналтирувчи мосламалар; 7 — ҳаракатчан йўналтирувчи мосламалар; 8 — поршень; 9, 10 — узатиш ва сўриш патрубкълари; 11 — кўп поғонали совиткичлар.

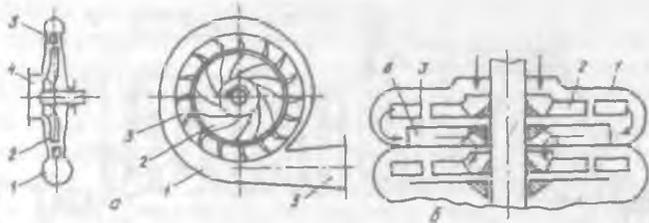
катталиги кичиклашиб боради. Кўп босқичли турбокомпрессорлар ёрдамида  $1,5 \div 1,6$  мПа гача босим ҳосил қилинади.

Охириги босқичнинг йўналтирувчи мосламасидан чиқаётган газнинг тезлиги кўпинча 50 м/с гача етади. Замонавий турбомашиналар иш ғилдираги қирраларидаги газнинг тезлиги 400 м/с дан ортади.

Эйлернинг асосий тенгламаси турбокомпрессорлар учун ҳам тааллуқлидир, аммо пропорционаллик қонунини булар учун қўллаб бўлмайди, чунки газ сиқилиши натижасида унинг босими ва зичлиги ўзгаради.

Турбокомпрессорларда газлар бир меъёрда узатилади, аммо фойдали иш коэффициентлари поршенли компрессорларга нисбатан камроқ. Босими камроқ бўлган кўп микдордаги мойли, ёғ аралашган газларни узатиш учун турбогаз одувкалар ишлатилади. Валдаги иш ғилдиракларининг сонига қараб турбогазодувка бир ва кўп босқичли бўлади (5.22- расм, а ва б.). Турбогазодувканинг қобилигидаги паррақли иш ғилдираклари худди марказдан қочма насосларникига ўхшаб айланма ҳаракат қилади.

Иш ғилдираги йўналтирувчи мосламанинг ичида жойлашиб, бунда газнинг кинетик энергияси потенциал энергияга айланади.



5.22- расм. Турбогазодувкалар:

а — бир босқичли; б — кўп босқичли; 1 — кобик; 2 — иш гилдираги; 3 — йўналтирувчи мослама; 4, 5 — сўрувчи ва узатувчи патрубклар; 6 — қайтма канал.

Йўналтирувчи мослама иккита дискдан иборат бўлиб, узаро бири бири билан гилдирак парракларига қарама-қарши йўналган парраклар ёрдамида бириктирилган.

Газ турбогазодувкага сўриш патрубкиси орқали кириб, сиқилган газ ҳайдаш патрубкиси орқали узатилади.

Кўп босқичли турбогазодувкада иш гилдиракларининг сони 3—4 та бўлади. Буларда газ биринчи иш гилдирагидан йўналтирувчи мослама ва қайтма канал орқали кейинги иш гилдирагига ўтади. Қайтма каналда бир қанча қўзғалмас йўналтирувчи қирралар бўлиб, улар ёрдамида ўтаётган газ берилган тезликда ва йўналишда ҳаракат қилади. Турбогазодувкаларда газ  $0,3 \div \div 0,35$  мПА босимгача сиқилади; шунинг учун газ совитилмайди.

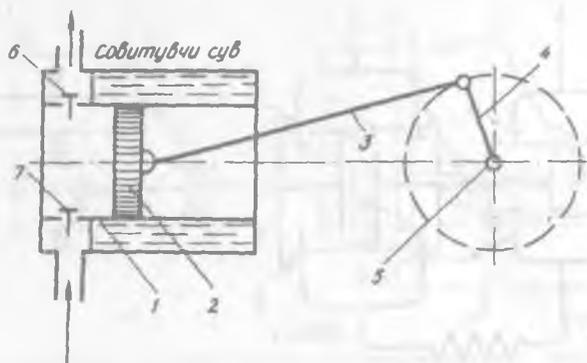
Турбогазодувкада газнинг босими билан ҳажм орасидаги боғланишни индикатор диаграмма орқали тасвирлаб бўлмайди.

### 5.9- §. ПОРШЕНЛИ КОМПРЕССОРЛАР

*Поршенли компрессорлар* сиқиш даражасига қараб бир ва кўп босқичли, шунингдек, ишлаш принципига кўра бир ва икки томонлама ҳаракат қилувчи бўлади.

Бир босқичли поршенли компрессорнинг тузилиши худди поршенли насоснинг тузилишига ўхшаш (5.23- расм). Поршень цилиндр ўнгга ва чапга кривошип механизми ёрдамида қайтарилгарилама ҳаракат қилади. Поршень цилиндрининг ички деворига зич қилиб ўрнатилади ва цилиндр бўшлиғини икки қисмга бўлиб туради. Поршень чапдан ўнгга томон илгарилама ҳаракат қилганда сўриш клапани очилиб цилиндр газга тўлади. Орқага қайтганда цилиндрдаги газнинг сиқилиши натижасида босим орта бориб, узатилиш линиясидаги босимга тенг бўлганда, узатувчи клапан очилиб газ узатила бошланади. Газ сиқилганда унинг температураси кўтарилади, қизиган газ ёглаб турувчи мойни куйдириб юбормаслиги учун цилиндрининг девори сув билан узлуксиз совитиб турилади.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлиги кам бўлганлиги учун икки томонлама ҳаракатланувчи поршенли компрессорлар

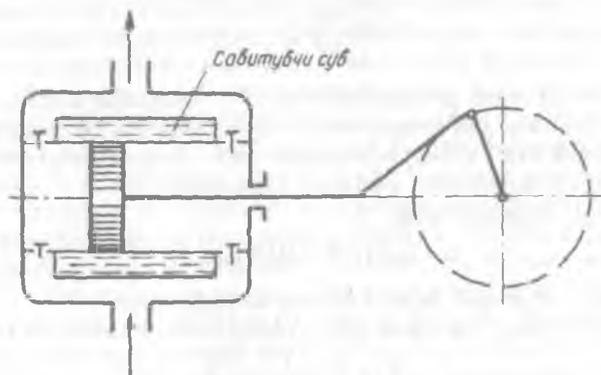


5.23- расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндрли компрессор:

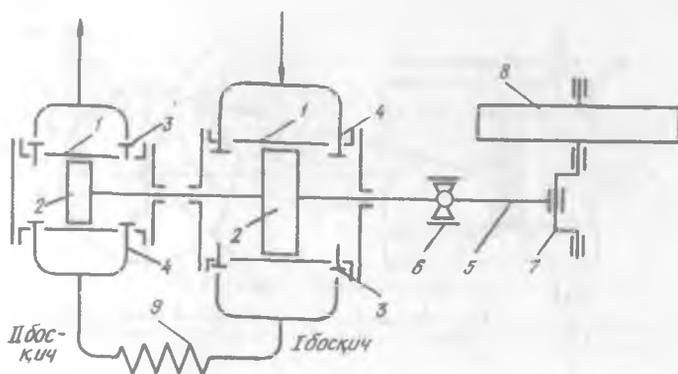
1 — цилиндр; 2 — поршень; 3 — шатун; 4 — кривошип; 5 — вал; 6 — хайдаш клапани; 7 — сўриш клапани.

кўп ишлатилади. Бу компрессорларда цилиндрдаги газ поршеннинг иккала қисмида (чап ва ўнг) сиқилади: уларда иккита сўриш ва иккита узатиш клапани бор (5.24- расм). Поршень кривошип-шатунли механизм ёрдамида илгарилама ҳаракат қилади. Вал бир марта айланганда цилиндрга газ икки марта сўрилади ва икки марта узатилади. Компрессорнинг унумдорлиги бир томонлама ишлайдиган компрессорникига қараганда деярли икки марта кўп.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлигини ошириш ҳамда газнинг сиқилиш даражаси  $0,4 \div 0,6$  мПа бўлиши учун кўп цилиндрли бир ва икки томонлама сиқадиган компрессорлар ишлатилади. Бу компрессорда газ биринчи цилиндрдан кейинги цилиндрга ўтган сари босим кўтарилга бошлайди. Компрессорнинг паршени умумий бир иш валига ўрнатилган. Газ сиқилиши натижасида унинг температураси бир цилиндрдан иккинчи



5.24- расм. Икки томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндрли компрессор.



5.25- расм. Икки цилиндрли бир томонлама ҳаракатланувчи компрессор:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3, 4 — сурувчи ва узатувчи клапанлар; 5 — шатун; 6 — крейцкопф; 7 — кривошип; 8 — маховик; 9 — советкич.

цилиндрга ўтганида ортиб боради. Шу сабабли иккита цилиндр орасига советкичлар ўрнатилади. 5.25- расмда икки цилиндрли газни бир томонлама сиқадиган компрессорнинг ишлаш принципи кўрсатилган. Бу компрессорда поршенлар параллел ишлайди ва цилиндр кетма-кет ёки параллел битта ўққа ўрнатилади.

Одатда поршенли компрессорда сиқиш боскичларининг сони 7 дан ортмайди. Ҳақиқий компрессорларда бирор ҳолатни эгаллаган поршень билан цилиндр қопқоги орасида доимо муайян ҳажм қолади ва у қолдиқ ҳажм дейилади. Қолдиқ ҳажм цилиндр ҳажмининг 3—5% ини ташкил қилади ва у ортиши билан компрессорнинг унуми пасаяди. Газ узатилгандан кейин у яна сўрилиши учун ва қолдиқ ҳажмда қолган сиқилган газнинг босими сўриш вақтидаги сиқилмаган газнинг босимига тенг бўлиши учун у кенгайиши керак. Бир томонлама ҳаракат қилувчи, яъни оддий бир босқичли поршенли компрессорнинг иш унумдорлиги ( $Q$ ,  $m^3/c$ ) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$Q = \lambda \frac{FSn}{60} \quad (5.46)$$

бу ерда  $\lambda$  — узатиш коэффициенти;  $F$  — поршен юзаси,  $m^2$ ;  $S$  — поршень йўлининг узунлиги,  $m$ ;  $n$  — айланиш частотаси, айл/мин.

Кўп босқичли компрессорнинг иш унумдорлиги биринчи босқичнинг унумдорлиги орқали аниқланади.

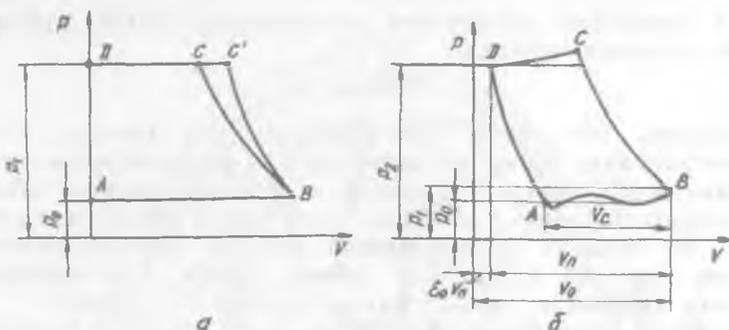
Узатиш коэффициенти:

$$\lambda = (0,8 \div 0,95)\lambda_0 \quad (5.47)$$

бу ерда  $\lambda_0$  — ҳажмий фойдали иш коэффициенти.

Компрессорнинг ҳажмий фик қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon_0 \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (5.48)$$



5.26-расм. Бир босқичли поршенли компрессорнинг индикатор диаграммасы:

*a* — идеал компрессор; *б* — ҳақиқий компрессор.

бу ерда  $\epsilon_0 = 0,03 \div 0,08$  — цилиндрдаги қолдиқ ҳажми поршеннинг ҳаракати пайтида ҳосил бўлган ҳажмга нисбати;  $m = 1,2 \div 1,35$  қолдиқ ҳажмдаги сиқилган газнинг кенгайиш политропи кўрсаткичи.

Поршенли компрессорнинг ишлашини текшириб туриш учун индикатор диаграммасы тузилади (5.26-расм). Бу диаграмма поршеннинг бир мартаба илгарилама-қайтма ҳаракати натижа-сида сўрилган ва ҳайдалган газнинг босими ва ҳажми ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

Аввало идеал компрессорнинг индикатор диаграммасини кўриб чиқамиз. Бунда поршеннинг чапдан ўнгга қараб ҳаракати бошланиши биланок сўриш бошланади (5.26-расм, *a*). *AB* горизонтал чизиги газни сўриш жараёнини, *BC* чизиги цилиндрдаги газни босимнинг қиймати  $P_0$  дан  $P_1$  гача сиқиш жараёнини (*BC* — изотермик сиқиш, *BC'* — адиабатик сиқиш), *CD* — горизонтал чизиги газни ҳайдаш жараёнини кўрсатади.

Ҳақиқий компрессорнинг индикатор диаграммаси 5.26-расм, *б* да берилган. *D* нукта поршеннинг чап томонга силжигандаги энг чекка ҳолатини белгилайди. Ҳақиқий компрессорларда бу нукта ҳеч вақт цилиндрнинг қопқоғига зич тегиб турмайди. Цилиндр қопқоғи ва поршеннинг чап томонидаги энг чекка ҳолатини эгаллаган пайда ҳосил бўлган бўшлиқ қолдиқ ҳажм деб аталади. Бу қолдиқ ҳажм  $\epsilon_0 V_n$  га тенг, бу ерда  $V_n$  цилиндрнинг иш ҳажми.

Поршен чап ҳолатдан ўнгга қараб ҳаракатланганда қолдиқ ҳажмдаги газнинг кенгайиши бошланади. Бу жараён (*DA* чизиги) ҳажмнинг кўпайиши ва босимнинг камайиши билан характерланади ва цилиндрдаги босимнинг қиймати  $P_0$  сўриш трубасидаги босим  $P_1$  дан бироз камроқ бўлганда тўхтайтиди. Поршеннинг *A* нуктасига тўғри келган ҳолатида  $P_1 - P_2$  босимлар фарқи таъсирида сўриш клапани очилади ва газ компрессорга киради. Сўриш жараёни (*AB* чизиги) поршеннинг ўнг томондаги энг чекка *B* нуктасини эгаллагунча давом этади. Сўрилаётган газнинг ҳажми

$V_c$   $AB$  чизигининг узунлигига пропорционал бўлиб, куйидаги ифода ёрдамида топилади:

$$V_c = \lambda_0 V_n.$$

Поршень энг чекка ўнг ҳолатдан чап томонга қараб ҳаракатланганда сўриш клапани ёпилади ва политропик сиқиш бошланади ( $BC$  чизиги). Бу политропик сиқиш жараёни ҳайдаш трубасидаги босимнинг қиймати  $P_2$  дан бир оз кўпайгунча давом этади. Бу ҳолатда ( $C$  нуктасида) ҳайдаш клапани очилади. Ҳайдаш жараёни  $CD$  чизиги бўйича боради.  $CD$  чизигининг узунлиги ҳайдалган газнинг ҳажмига пропорционалдир.

Берилган миқдордаги газни ( $G$ , кг) 1 соат давомидида дастлабки босим  $P_1$  дан охириги босим  $P_2$  гача адиабатик сиқиш учун бир босқичли компрессор двигателининг истеъмол қуввати ( $N_{gb}$ , кВт) куйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{gb} = \frac{GL_{aг}}{3600 \cdot 1000\eta} = \frac{G(i_2 - i_1)}{3600 \cdot 1000\eta}, \quad (5.49)$$

бу ерда  $i_1$  ва  $i_2$  газнинг бошланғич ва охириги энтальпияси (ёки иссиқлик ушлашлиги), Ж/кг;  $\eta$  — компрессор қурилмасининг умумий ф.к. Поршеньли компрессор юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлиб, унинг ёрдамида газларни кенг интервалда 100 мПа босимгача сиқиш мумкин. Газнинг бир меъёрда узатилмаслиги, унумдорлигининг дастлиги ва клапанларининг кўплиги поршеньли компрессорнинг камчилигидир.

#### 5.10-§. РОТОРЛИ КОМПРЕССОРЛАР

Бу компрессорлар ҳам поршеньли компрессорлар сингари, иш бўшлиги ҳажмининг камайиши принципида ишлайди. Роторли компрессорлар конструктив белгиларига кўра пластинали, юмалайдиган роторли, сув ҳалқали, газодувка ва икки роторли компрессорларга бўлинади.

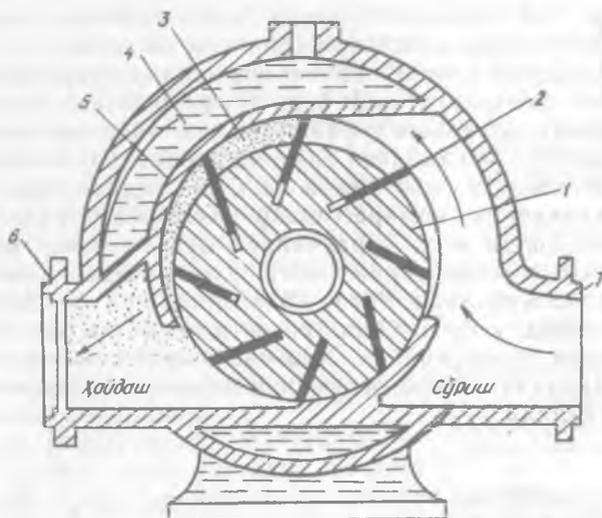
**Пластинали компрессор** пластинали насослар каби ишлайди, улар бир босқичли ва икки босқичли бўлади.

Пластинали роторли компрессорнинг сўриш вақтидаги унумдорлиги куйидагича аниқланади:

$$V = 2len\lambda(\pi D - \delta z), \quad (5.50)$$

бу ерда  $l$  — пластинанинг узунлиги, м;  $e$  — роторнинг эксцентритети, м;  $n$  — роторнинг айланишлар частотаси, 1/с ёки  $s^{-1}$ ;  $D$  — кобикнинг ички диаметри, м;  $b$  — пластина қалинлиги, м;  $z$  — пластиналар сони,  $z=30-40$  тагача бўлади;  $\lambda$  — узатиш коэффициенти.

Бир босқичли роторли пластинали компрессорда газ  $0,25 \div 0,5$  мПа босимгача, икки босқичлида эса  $0,8 \div 1,5$  мПа босимгача сиқилади. Бундай компрессорлардан паст босим ва катта унумдорлик олиш мақсадида фойдаланилади.



5.27- расм. Пластиналы роторлы компрессор:

1 — ротор; 2 — сирпанадиган пластиналар; 3 — ротор билан қобик орасидаги бұшлик; 4 — совитувчи сув бұшлиги; 5 — қобик; 6 — қайдаш патрубкеси; 7 — сүриш патрубкеси.

5.27- расмда пластиналы роторлы компрессорнинг чизмеси кўрсатилган. Қобикда эксцентрик равишда ротор жойлашган, унинг ўйилган жойларида радиал йўналишда осон сирпанадиган пластиналар бўлиб, улар ротор билан қобик орасидаги ўроксимон бұшлиқни бир неча қисмга бўлиб туради. Сүриш патрубкеси шундай жойлашганки, бу ерда пластиналар марказдан қочма куч таъсирида роторнинг ўйилган жойларидан чиқади ва газ қириши учун икки пластина орасидаги ҳажм бўшайди. Ротор парракнинг юқориги ҳолатигача бурилган сари ҳажм аста-секин орта боради. Ротор яна бурилганда пластиналар ўйилган жойларга кира бошлайди ва пластиналар орасидаги ҳажм кичраяди. Ҳажмни тўлдирувчи газнинг босими ҳам тегишлича қўпаяди. Ротор бурилиши давомида бўш ҳажм қайдаш патрубкеси бұшлиги билан бирлашади ва бу ердан сиқилган газ труба орқали газ йиғичга ҳамда истеъмолчига ўтади.

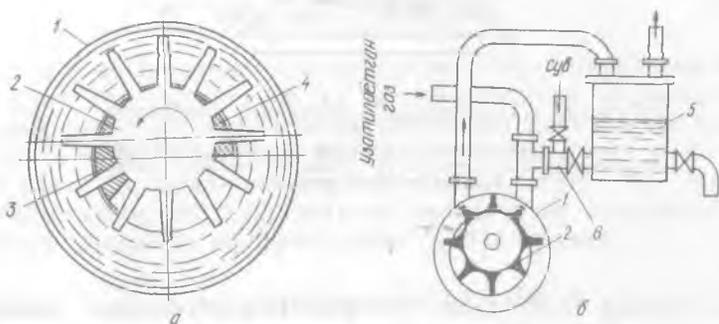
Ротор яна бурилганида жараён такрорланади. Компрессор ишлаган вақтда қобигининг деворлари қизиқ кетмаслиги учун сув билан совитиб турилади.

Роторлы компрессорнинг поршенли компрессорга нисбатан қуйидаги афзалликлари бор: 1) ўлчамлари ва оғирлиги кичик, поршенли компрессорга нисбатан кам жой эгаллайди; 2) кривошип-шатунли механизми бўлмагани учун анча раван ишлайди; 3) айланишлар частотаси катта, компрессорни ҳаракатга келти-

риш учун уни бевосита электр двигателига улаш мумкин; 4) тузилиши оддий, деталлари сони кам ва арзон.

Лекин роторли компрессорнинг поршенли компрессорга нисбатан муҳим камчилиги ҳам бор: 1) фик кичик; 2) деталлари ниҳоятда аниқ ишланиши туфайли уларни тайёрлаш технологияси анча мураккаб; 3) сиқилган газнинг босими катта эмас; 4) бир созлашдан кейинги созлашгача ишлаш муддати қисқа.

**Сув ҳалқачали компрессорлар.** Компрессорнинг қобиғида эксцентрик ҳолда ясси куракчалари булган ротор жойлашган (5.28-расм). Компрессорни ишга туширишдан олдин унинг ярмигача сув қуйилади. Ротор айланганда сув атрофга сочилиб, компрессорнинг қобиғи билан роторга нисбатан эксцентрик сув ҳалқачалари ҳосил қилади. Ҳажмдаги куракчаларнинг пастки қисми сув ҳалқачаларидаги суюқликка ботирилгунча компрессорга сув қуйилади.

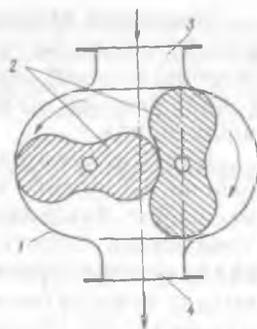


5.28-расм. Сув ҳалқачали компрессор:

а — компрессорнинг тузилиши; б — газларни узатиш қураьмаси;  
1 — қобик; 2 — ротор; 3 — узатувчи тешик; 4 — суриш тешиги; 5 — идиш; 6 — компрессорни сув билан тулдирувчи қуйилиш труба̀си.

Ротор куракчалари билан сув ҳалқачалари орасида ячейкалар ҳосил бўлади. Ячейкаларнинг ҳажми роторнинг биринчи ярим айланишида кенгаяди, иккинчи ярим айланишида эса тораяди. Ячейкаларнинг ҳажми кенгайганида газ сўрилади ва роторнинг кейинги айланишида ячейканинг ҳажми торайиши натижасида газ сиқилиб узатиш патрубкиси орқали узатилади. Бу компрессорда сув ҳалқачалари поршень вазифасини бажаради, чунки ҳалқачалар воситасида иш камерасининг ҳажми ўзгаради. Шунинг учун бундай компрессорларни суюқлик поршенли компрессорлар ҳам дейилади. Суюқлик поршенли компрессорлар асосан газ ҳолатдаги хлорни узатиш учун ишлатилади. Бунда эллипс шаклдаги қобиқнинг ярмисигача иш суюқлик сифатида концентранган сульфат кислота қуйилади. Роторли сув ҳалқачали компрессорлар жуда кам ортиқча босим ҳосил қилгани (0,25 мПа гача) сабабли улар газодувкалар ва вакуум насослар сифатида ишлатилади.

**Газодувкалар.** Роторли газодувканинг қобиғидаги иккита параллелвалда барабанлар ёки поршенлар жуфти айланма ҳаракат қилади. Барабанларнинг биттаси электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракат, иккинчиси эса унга тишлари билан илашиб ҳаракат қилади (5.29-расм). Барабанлар бир-бирига қарама-қарши йўналишда айланма ҳаракатда бўлади. Барабанлар айланганида бир-бирига ва қобиқ деворига зич жойлашиб, иккита бир-бирдан ажратилган камера ҳосил қилади. Пастки камерада вакуум ҳосил бўлиб, унга газ сўрилади, юқориги камерада газ сиқиб чиқарилади.



5.29-расм. Ротацион газодувка:

1 — қобиқ; 2 — ротор; 3 ва 4 — сўриш ва узатиш патрубкълари.

Роторли газодувкалар минутига  $2 \div \div 800 \text{ м}^3$  гача ҳаво узатади. Узатиш коэффициентини 0,8; умумий фойдали иш коэффициентини  $0,6 \div \div 0,7$ . Газодувкаларнинг тузилиши содда, ихчам, клапанлари бўлмагани учун уларда газ бир меъёрда узатилади. Лекин юқори босим ҳосил қилмагани сабабли кам ишлатилади.

#### 5.11-§. ВАКУУМ-НАСОСЛАР

Кимёвий технологиянинг айрим жараёнлари (масалан, бугла-тиш, ҳайдаш, қуритиш сийракланиш (яъни вакуум) муҳитида ҳам олиб борилади. Вакуум қўлланилганда суюқликнинг қайнашини паст температурада олиб бориш имконияти вужудга келади. Вакуум ҳосил қилувчи машиналар *вакуум-насослар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи ва тузилиши компрессорнинг ишлаши ва тузилишига ўхшайди.

Вакуум-насослар тузилиши жиҳатидан компрессорлардан сиқилиш даражасининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, вакуум-насос газни (ёки ҳавони)  $P_1 = 0,05$  ат бўлганда (яъни сийракланиш 95 %) сўриб олиб, уни сиқиб, насосдан чиқаётганда  $P_2 = 1,1$  ат га етказса (0,1 ат микдордаги ортикча босим трубопроводдаги ва ҳайдаш клапанларидаги қаршиликларни енгиш учун сарфланади), у ҳолда сиқиш даражаси:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22.$$

Маълумки, бир босқичли поршенли компрессорларда сиқиш даражаси 8 дан ортмайди. Сиқиш даражаси жуда юқори бўлиши сабабли, вакуум-насоснинг ҳажвий коэффициентини ва унумдорлигини бирдан камайдди. Насоснинг иш ҳажмидан тулик фойдаланиш учун қолдиқ ҳажми камайтиришга ҳаракат қилинади. Шунинг учун вакуум-насоснинг бир неча турларида (поршенли, роторли) босимларни тенглаштириш усулидан фойдаланиб, узатиш коэффициентининг қиймати  $0,8 \div 0,9$  гача кўпайтирилади.

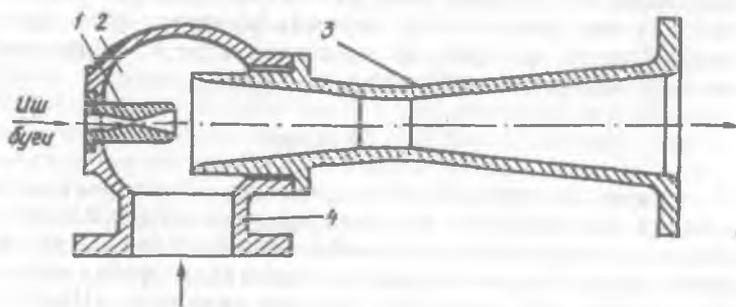
**Поршенли вакуум-насослар.** Булар *қуруқ* ва *суюқлик* насосларига бўлинади. Қуруқ вакуум-насослар газларни сўриб ташқарига чиқариб ташлаш учун, суюқлик вакуум-насослар эса бир вақтнинг ўзида газ ва суюқликларни сўриб чиқариб ташлаш учун ишлатилади.

Қуруқ вакуум-насоснинг тузилиши поршенли компрессорларга ўхшаш. Ҳажмий коэффициентини ошириш учун бу вакуум насоснинг баъзиларига золотник, яъни тақсимловчи механизм ўрнатилади. Золотник ёрдамида сиқиш жараёнининг охиридаги қолдиқ ҳажм сўриш камераси билан бирлаштирилади. Бунда қолдиқ ҳажмда босими  $P_2$  бўлган газ сўриш камерасида босими  $P_1$  бўлганда газ билан аралашиб, газнинг босими тенглашади. Натижада газни сўриш жараёни вакуум насосларда аввалги ҳолатдагидек, поршеннинг ҳаракати билан цилиндрга сўрилади ва унумдорлик ортади.

Суюқлик вакуум-насосларида ортиқча миқдордаги суюқликни чиқариб ташлаш мақсадида (клапандан чиқаётган суюқликнинг тезлиги газнинг ҳаракат тезлигидан кам бўлишлиги учун) сўриш ва ҳайдаш клапанларда каттароқ бўлади. Шунинг учун суюқлик вакуум-насосларида қолдиқ ҳажм эгаллаган қисми катта бўлиб, улар қуруқ вакуум-насосларга нисбатан кам сийракланиш беради. Суюқлик вакуум-насосларда золотниклар бўлмайди.

**Ротор пластинали ва сув ҳалқачали вакуум-насослар.** Бу насослар конструктив жиҳатдан ҳудди 5.27- ва 5.28- расмлардаги компрессорларга ўхшаш. Ротёрли вакуум-насосларда қолдиқ ҳажм махсус канал ёрдамида паст босимли камера билан бирлаштирилиб, газнинг босими тенглаштирилади. Бунда вакуум-насоснинг ҳажмий коэффициенти ва унумдорлиги ортади.

Сув ҳалқачали вакуум-насосларда ҳосил бўлган сийракланиш миқдори насосга қуйиладиган иш суюқлигининг парциал босимига ва температурасига боғлиқ. Суюқлик температураси ортиши билан сийракланиш миқдори камаёди. Шу сабабли сув ҳалқачали вакуум-насосларга паст температурали суюқлик қуйилади.



5.30- расм. Ингичка оқимли буг вакуум-насоси:

1 — буг соплоси; 2 — аралашуш камераси; 3 — диффузор; 4 — сўриш патрубкиси.

**Ингичка оқимли вакуум-насослар.** Уларнинг ишлаш принципи худди суюқлик узатувчи ингичка оқимли насосларникига ўхшайди. Ингичка оқимли вакуум-насосларда иш суюқлиги сифатида буг ишлатилади (5.30- расм). Бундай насослар кислота бугларини сўриб олиш учун ишлатилади.

Катта ва чуқур вакуум олиш учун кўп босқичли ингичка оқимли вакуум-насослардан фойдаланилади.

## 5.12-§. НАСОС ВА КОМПРЕССОРЛАРНИНГ ИШЛАТИЛИШ СОҲАЛАРИ

Саноатнинг барча ишлаб чиқариш соҳаларида суюқликларни узатиш учун асосан парракли ва ҳажмий насослар ишлатилади. Парракли насослар қаторига марказдан қочма, уюрмали, ўкли ва бошқа насослар киради. Парракли насослар ичида марказдан қочма насослар кўп ишлатилади, уларнинг умумий техник кўрсаткичлари ГОСТ 15110—79Е да берилган.

Марказдан қочма насослар бошқа насосларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: а) массаси енгил, ихчам, тайёрлаш учун кам металл сарфланади; б) унумдорлиги юқори, ҳаво қалпоқчаларисиз суюқликларни бир меъёрда узатади; в) бошқариш ва тузатиш осон ҳамда тўғридан-тўғри ёрдамчи механизмларсиз электр двигателга уланади; г) сўриш ва ҳайдаш клапанлари бўлмагани учун ифлосроқ суюқликларни ҳам узатиши мумкин; д) узок муддат давомида ишончли ишлайди.

Саноатда марказдан қочма консолли насослар энг кўп қўлланилади. Бундай насослар ичимлик ва саноат сувларини, актив ва нейтрал кимёвий суюқликларни, оқова сувларни узатиш учун ишлатилади.

Тоza сувларни узатишга мўлжалланган консолли насосларнинг иш унумдорлиги  $5 \div 360 \text{ м}^3/\text{соат}$  ва босими эса  $10 \div 90 \text{ м}$  га тенг бўлади. Таркибида ўлчами 1 мм гача бўлган қаттиқ заррачаларни 0,2 % миқдорда (масса бўйича) ушлаган актив тоza суюқликларни (температураси — 40 дан  $90^\circ \text{ С}$  гача бўлган) узатиш учун мосланган консолли насослар қуйидаги кўрсаткичларга эга:  $Q = 2500 \text{ м}^3/\text{соат}$ ;  $H = 10 \div 250 \text{ м}$ .

Бундан ташқари, температураси  $200^\circ \text{ С}$  гача бўлган актив, кристалланидиган ва қотиб қолувчи суюқликларни узатишга мўлжалланган консолли насосларнинг иш унумдорлиги  $3 \div 300 \text{ м}^3/\text{соат}$ , босими эса  $15 \div 150 \text{ м}$  га тенг бўлади. Таркибида 4 % гача қаттиқ моддалар бўлган актив суюқликларни узатадиган насослар эса қуйидаги кўрсаткичларга эга:  $Q = 5 \div 800 \text{ м}^3/\text{соат}$ ;  $H = 10 \div 70 \text{ м}$ .

Ҳозирги вақтда бир қатор унификация қилинган насослар ишлаб чиқилмоқда. Жумладан Х—65—200 типдаги насос ёрдамида кимёвий суюқликлар узатиш мумкин:  $Q = 100 \text{ м}^3/\text{соат}$ ;  $H = 50 \text{ м}$ ;  $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$ .

Пластмассадан тайёрланган марказдан қочма насослар концентрацияси 30 %, зичлиги  $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$  ва температураси  $60^\circ \text{ С}$  гача

булган сульфат кислота узатиш учун хизмат қилади. Масалан, бундай мақсад учун мулжалланган 2ХМ-6П-2 насоси қуйидаги кўрсаткичларга эга:  $Q = 10 \div 30 \text{ м}^3/\text{соат}$ ;  $H = 34 \div 25 \text{ м}$ ;  $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$ ;  $N = 4,5 \text{ кВт}$ .

Сульфат ва бошқа бир қатор кислоталарни узатишда 3Х-9Р-1 (2) типдаги насос яхши натижа бермоқда. Насоснинг кислота билан тўқнашувда булган қисмлари қора металлдан тайёрланган бўлиб, турли навдаги резиналар билан қопланган бўлади. 3Х-9Р-1 (2) типдаги насос қуйидаги кўрсаткичларга эга:  $Q = 30 \div 65 \text{ м}^3/\text{соат}$ ;  $H = 32 \div 25 \text{ м}$ ;  $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$ ;  $N = 14 \text{ кВт}$ .

Резервуарлардаги кимёвий агрессив суюқликларни узатиш учун консолли насослар ўрнига чуқтирилган вертикал насослардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай насосларнинг асосий қисми суюқликка доимо чуқтирилган ҳолатда бўлади, насосни ҳаракатга келтирувчи қисми эса резервуарнинг тепасига жойлаштирилган бўлади. Масалан, сульфат, азот, фосфор ва бошқа кислоталарни узатишга мулжалланган XII типдаги насосларнинг босими 50 м гача бўлиб, соатига  $10 \div 600 \text{ м}^3$  миқдоридаги суюқликни узатиши мумкин.

Таркибида қаттиқ заррачалар бўлмаган ва температураси  $165^\circ\text{С}$  дан кам булган сувни узатиш учун ЭП типдаги марказдан қочма насослар ҳам ишлатилади. Бундай насослар қуйидаги техник характеристикаларга эга:  $Q = (1,8 \div 6,9) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H = 440 \div 700 \text{ м}$ ;  $n = 50 \text{ с}^{-1}$ ;  $\eta = 0,65 \div 0,75$ ;  $N = 108 \div 410 \text{ кВт}$ .

Таркибида 50 % гача қаттиқ заррачалар бўлиб, температураси  $80^\circ\text{С}$  гача булган пульпа ва суспензия кўринишидаги агрессив суюқликларни узатиш учун ПХП типдаги насослар ишлатилади.

Турли кимёвий агрессив ва нейтрал ҳамда таркибида қаттиқ моддалар булган суюқликларни узатиш учун АХО-65-40-200, ТХИ-500-20-И-Ш ва Х40-32-125П типдаги электр насосли агрегатлар ҳам ишлатилади.

Кимёвий актив, радиоактив, захарли ва енгил алангаланиб кетувчи суюқликларни ҳамда юқори температура ва босим таъсирида турган суюқликларни (суюқлик ва унинг бугларини ташқи муҳитга сирқиб чиқиб кетиши мумкин бўлмаган ҳолатда) узатиш учун ХГВ ва ЦНГ типдаги сальниксиз герметик электр насослар қўлланилади.

Кам миқдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш учун уюрмали марказдан қочма насосларни ишлатиш мақсадга мувофиқ. Бундай насослар абразив қўшимчаси бўлмаган, кимёвий актив суюқликларни узатиш учун ишлатилади:  $Q = (0,16 \div 12,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H = 10 \div 300 \text{ м}$ .

Ўқли насослар буглатиш қурилмалари, кристаллизаторлар, реакторлар ва бошқа кимёвий қурилмалардан мажбурий циркуляция қилиш учун фойдаланилади.

Кам миқдордаги суюқликларни юқори босимда ҳамда қовушқли юқори ва ўта оқувчан иссиқ ва совуқ суюқликларни узатиш учун турли типдаги поршенли насослардан фойдаланилади. Масалан, ХТ типдаги поршенли насос температураси  $60^\circ\text{С}$  гача

булган энгил учувчан суюкликларни узатиш учун ишлатилади. Температураси 100°C гача булган агрессив суюкликларни узатиш учун эса ХТР типигаги насосдан фойдаланилади.

НД типигаги поршенли насослар тоза нейтрал ва агрессив суюкликларни узатиш учун ишлатилади. Масалан, юкори босимли полиэтилен ишлаб чиқаришида ишлатилаётган насослар қуйидаги кўрсаткичларга эга:  $P = 250$  мПа;  $Q = 0,04 \div 0,1$  м<sup>3</sup>/соат.

Таркиби механик қўшимчали агрессив суюкликлар, пульпалар ва бошқа маҳсулотларни узатиш учун винтли насослар (бир винтли 1В-80/5Х-1; уч винтли 3ВХ21/25, 3ВХ216/25) ишлатилади.

Температураси 60°C гача булган кимёвий актив суюкликларни ва электрокимёвий қурилмаларда ишлатиладиган металл гидроксидлари суспензияларини узатиш учун тишли насослар қўлланилади.

Қовушоклиги  $(1 \div 15) \cdot 10^{-2}$  Па·с ва температураси 20 ÷ 50°C булган полимер эритмалари, эмульсиясиз каучуклар ва концентранган нотургун латекслар, йигириш эритмаларини узатиш мақсадида коловратли насослар ишлатилади. Кимё саноатининг барча тармоқларида кенг миқёсда поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналаридан фойдаланилади.

Турбокомпрессор ва турбогазодувкалар тузилишининг соддалиги, ихчамлиги ва газларни бир меъёрда узатиш билан бошқа компрессорлардан фарқланади. Буларнинг энг катта афзаллиги шундаки, улар газларни тоза холда узатади. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларда тезюарар ва инерцион кучланишлар булмагани учун уларни энгил фундаментларга ҳам ўрнатиш ҳамда тўғридан-тўғри электр двигателга улаш мумкин. Турбокомпрессорлар кўп миқдордаги газларни 10000 ÷ 20000 м<sup>3</sup>/соат, 3 мПа гача босимда узатади. Ҳозирда кўп босқичли турбокомпрессорлар газларни 30 мПа гача босимда узатиш мумкин.

Кимё саноати корхоналарида ҳавони сиқиш ва узатиш учун К-500 61-5 маркали турбокомпрессор ишлатилади. Бу турбомашина қуйидаги характеристикага эга: нормал шароитдаги иш унумдорлиги 8,50 м<sup>3</sup>/с (қурук ҳаво бўйича), 8,75 м<sup>3</sup>/с (нам ҳаво бўйича); газнинг босими дастлабки 0,1 мПа, охири 0,88 мПа; компрессорнинг истеъмол қиладиган қуввати 3000 кВт; ҳайдаш патрубкасидан чиқаётган газнинг температураси 135°C; компрессорни ишлатиш учун сарф бўладиган ўртача солиштирма қувват 5,54 кВт/(м<sup>3</sup>·мин).

Бошқа соҳаларда (масалан, синтетик каучук ва полиэтилен ишлаб чиқаришларида, газни қайта ишлаш заводларида, бутанни пиролиз қилишга мўлжалланган технологик қурилмаларда) газларни сиқиш ва узатиш учун К-400-51-2, К-60-80-1, К-380-103-1, К-535-181-1, К-605-181-1 маркали турбокомпрессорлар ишлатилади.

Ҳозирда саноат газлари (кислород, азот, фреон, азот — водородли аралашма, турли углеводородлар)ни сиқиш ва узатиш учун бир қатор такомиллаштирилган марказдан қочма компрессор машиналар (УЦКМ) ишлаб чиқилди.

Кам миқдордаги ( $10000 \text{ м}^3/\text{соат}$  гача) газларни юқори босимда ( $100 \text{ мПа}$  гача) узатиш учун поршенли компрессорлар ишлатилади.

Кимё саноатида 2ВУ1-2,5/1,3М7, 2ВМ4-24/9С, 4М10-200/22, ВТ-1,25/26М1,3С5ВП-16/70, 202ГП-12/3 ва ҳоказо маркали поршенли компрессорлар ишлатилади. Мисол учун ҳавони сиқишга мўлжалланган 2ВУ1-2,5/1,3 М7 маркали поршенли компрессор куйидаги характеристикага эга: иш унумдорлиги  $2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ ; босим сўришда —  $0,1 \text{ мПа}$ , ҳайдашда —  $0,9 \text{ мПа}$ ; электр двигателнинг қуввати  $18,5 \text{ кВт}$ . Поршенли компрессорларнинг асосий курсаткичлари ОСТ-26,12. 758-82 да берилган.

Кимё саноатида ўрта босимли В-Ц 14-46-5К-02, В-Ц12-49-8-01 ва ЦП-40-8К маркали марказдан қочма вентиляторлар энг кўп ишлатилади. Бундай вентилятор куйидаги курсаткичларга эга: иш унумдорлиги  $3,67 \div 5,55 \text{ м}^3/\text{с}$ ; босим  $2360 \div 2550 \text{ Па}$ ;  $n = 1400 \div 1600 \text{ мин}^{-1}$ .

Ёпиқ резервуар ёки қурилмалардан ҳаво, инерт газларни сўриб олиш учун вакуум-насослар ишлатилади. Вакуум-насослар сўриб олган ҳаво ёки газларни сиқиб атмосферага чиқариб юборади.

Зич ёпиладиган вакуум системалардан намлик томчилари ва механик ифлосликлардан тозаланган ҳавони, ноагрессив газлар, буглар ва буг-газ аралашмаларини сўриб олиб, ҳайдаш учун НВЗ-20 маркали вакуум-насос ишлатилади. Атроф-муҳитдаги ҳавонинг температураси  $10 \div 30^\circ\text{C}$  даъ кам бўлиши керак.

Вакуум ҳосил қилиш учун сув ҳалқачали насослар ҳам ишлатилади. Агрессив муҳитларда сийраклантиришни ҳосил қилиш учун ВВН маркали сув ҳалқачали вакуум-насослар қўлланилади. Масалан, ВВН2-50Х маркали вакуум-насоснинг иш қисми таркибида никелли ушлаган қотишмадан тайёрланган бўлиб, иш унумдорлиги  $50 \text{ м}^3/\text{мин}$  га тенг.

#### ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 5.1. Гидравлик машиналарнинг умумий турлари. Насослар ва компрессорлар қандай катталиклар билан характерланади?
- 5.2. Насосларнинг босими ва сўриш баланглиги ўртасида қандай фарқ ва умумийлик бор?
- 5.3. Марказдан қочма насоснинг ишлаши ва унинг универсал характеристикаси ўртасида қандай боғлиқлик мавжуд? Бундай насос учун пропорционаллик конунининг мазмуни нимадан иборат?
- 5.4. Поршенли ва плунжерли насосларнинг ўхшашлиги. Бундай насосларнинг ҳақиқий иш унумдорлигини қайси тенглама орқали аниқлаш мумкин?
- 5.5. Тишли, пластинали, винтли, ингичка оқимли, пропеллерли, уюрмали насосларнинг асосий фарқлари нималардан иборат?
- 5.6. Монтежю ва эрлифтлар ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор?
- 5.7. Газларни изотермик, адиабатлик ва политропик сиқишда бажарилган солиштирма иш ва ташқи муҳитга тортиб олиниши лозим булган иссиқлик миқдорлари қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 5.8. Вентилятор қандай мақсадлар учун ишлатилади? Уларнинг асосий курсаткичлари қайси тенгламалар орқали топилади?
- 5.9. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларнинг ишлаш принципи. Уларнинг умумий ва хусусий томонлари.

- 5.10. Идеал ва ҳақиқий порошени компрессорларнинг индикатор диаграммалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 5.11. Роторли компрессорларнинг турлари. Уларнинг афзалликлари ва камчиликлари нималардан иборат?
- 5.12. Насосларнинг ишлатилиш соҳалари. Уларни қандай принципда танлаш мумкин?

## 6-БОБ. СУЮҚЛИК МУҲИТЛАРИДА АРАЛАШТИРИШ

### 6.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Суюқлик билан боғлиқ бўлган системалар (суюқлик — суюқлик, суюқлик — қаттиқ жисм, суюқлик — газ)даги аралаштириш энг муҳим гидромеханик жараён бўлиб, муҳитга ташқи куч таъсирида қўшимча импульс беришга асосланган. Аралаштиригич, суюқлик ёки газнинг ингичка оқими таъсирида қурилма ҳажмидаги оқувчан муҳит заррачаларини бир-бирига нисбатан кўп маротаба силжитишга асосланган жараён *аралаштириш* деб аталади.

Аралаштириш қуйидаги мақсадлар учун ишлатилади: а) қаттиқ заррачаларни суюқлик ҳажмида бир текисда тарқатиш (суспензия ҳосил қилиш); б) суюқлик заррачаларини тегишли ўлчамларгача майдалаш ва уларни суюқлик муҳитда бир текисда тарқатиш (эмульсия ҳосил қилиш); газ заррачаларини суюқликда бир текисда тарқатиш (аэрация); г) суюқликни иситиш ёки совутиш жараёнларини тезлаштириш; д) аралашадиган системалардаги (масалан, қаттиқ материалларни суюқлик ёрдамида эритиш) модда алмашилишини тезлаштириш.

Аралаштириш пайтида чегара қатламнинг қалинлиги камаяди ва ўзаро таъсир қиладиган фазаларни ажратувчи юза доимо янгиланиб туради. Бунда муҳитнинг турбулентлик даражаси ортиб, фазалар ўртасида иссиқлик ёки модда алмашилиш шарт-шароитлари яхшиланади. Оқибатда суюқлик муҳитда аралаштириш кимёвий, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари тезлигининг кўпайишига олиб келади.

Кимё саноатида аралаштиришнинг қуйидаги усулларидан фойдаланилади: 1) механик; 2) циркуляцион; 3) турбулизатор ёрдамида; 4) пневматик. Бу усулларни танлаш пайтида бир неча шарт-шароитлар ҳисобга олинади: аралаштиришнинг мақсади; жараённинг асосий характеристикалари (температура, босим); аралашадиган муҳитнинг хоссалари; қурилманинг иш унумдорлиги.

Самарадорлик ва тезлик аралаштирувчи қурилмаларнинг энг муҳим характеристикалари ҳисобланади. Ҳар хил жараёнларда аралаштириш самарадорлиги турлича белгиланади. Масалан, агар қаттиқ модданинг суюқликдаги суспензияси текшириляётган бўлса, аралаштириш самарадорлиги қаттиқ модда заррачаларининг суюқликда бир хил тарқалиш вақти билан белгиланади. Агар аралаштириш иссиқлик алмашилишини тезлатиш учун ишлатилса, у ҳолда жараён самарадорлиги муҳитдаги иссиқлик бериш

коэффициентларининг қанчага кўпайиши билан белгиланади. Аралаштиришнинг тезлиги тегишли мақсадга эришиш учун сарф бўладиган вақт билан белгиланади.

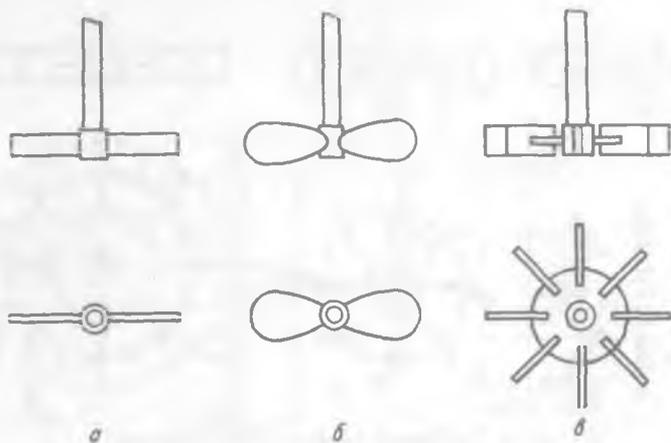
## 6.2-§. МЕХАНИК УСУЛДА АРАЛАШТИРИШ

Саноат ишлаб чиқаришларида турли айланувчан механик аралаштиргичлар ишлатилади. Энг кўп қўлланиладиган аралаштиргичлар асосан уч турга бўлинади (6.1-расм): 1) парракли; 2) пропеллерли (винтли); 3) турбинали.

*Парракли аралаштиргич* бир ёки бир нечта парракдан иборат бўлади (6.1, 6.2-расмлар). Бир парракли оддий аралаштиргичлар ковшоқлиги кичик бўлган ( $\mu < 0,1$  Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Қовшоқлиги катта бўлган суюқликларни аралаштириш учун кўп парракли ва махсус тайёрланган аралаштиргичлардан фойдаланилади. Чўкма ажратувчи системаларни аралаштириш учун якорли аралаштиргичлар ишлатилади. Агар аралаштиргичнинг диаметрини  $d$ , қурилманинг диаметрини  $D$ , парракнинг кенглигини  $b$ , қурилманинг тубидан аралаштиргичгача бўлган масофани  $h$  билан белгиласак, у ҳолда парракли аралаштиргичлар қуйидаги ўлчамларга эга бўлади:  $d = 0,6 \div 0,9 D$ ;  $b = 0,1 \div 0,2 D$ ;  $h \leq 0,3D$ . Парракли аралаштиргичлар минутига 400 мартагача айланиши мумкин, одатда  $n = 20 \div 80$  айл/мин.

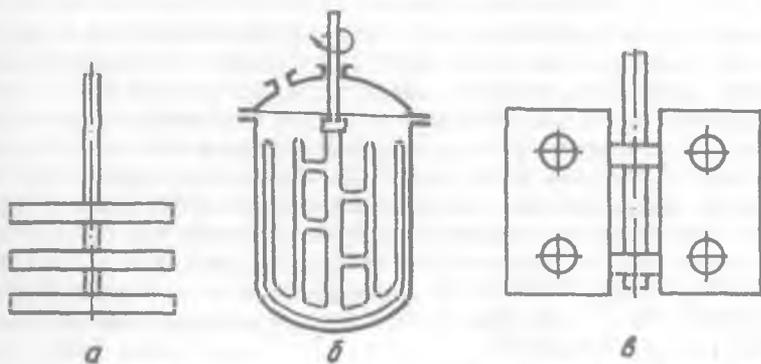
*Пропеллерли аралаштиргичнинг* асосий иш органи ўққа ўрнатилган пропеллер (ёки винт) дан иборат (6.3-расм). Ўқ горизонтал, вертикал ёки қия ўрнатилган бўлиши мумкин. Винтлар икки ёки уч қанотли бўлади. Қанотлар суюқликда худди винт каби ҳаракат қилади. Пропеллерли аралаштиргичларни ҳаракатчан ва ковшоқлиги бир оз катта бўлган ( $\mu < 6$  Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Бундай аралаштиргич мухитни яхши аралаштирганда катта тезлик билан айланади (айрим шароитда  $n = 40$  айл/с гача етади). Винтли аралаштиргич қуйидаги катталикларга эга:  $d = 0,25 \div 0,33 D$ ;  $h = 0,5 \div 1 D$ ;  $n = 150 - 1000$  айл/мин. Парракли аралаштиргичларга қараганда пропеллерли аралаштиргичларнинг самарадорлиги анча юқори, бироқ уларнинг ишлаши учун кўп энергия сарфланади. Винт қия жойлаштирилса аралаштиришнинг самарадорлиги ортади.

*Турбинали аралаштиргичнинг* асосий иш органи турбина гилдираги бўлиб, у вертикал ўққа жойлаштирилган бўлади (6.4-расм). Турбина гилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучнинг таъсирига асосланган. Суюқлик аралаштиргичнинг марказий тешикчаларидан кириб, у ерда марказдан қочма куч таъсирида тезланиш олган ҳолда гилдиракдан радиал йўналишда чиқиб кетади. Гилдиракда суюқлик вертикал йўналишдан горизонтал йўналишга ўтиб, ундан катта тезлик билан чиқади. Бундай аралаштиргич ковшоқлиги кам ва катта бўлган ( $\mu < 500$  Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Турбинали аралаштиргич учун  $d = (0,15 \div 0,6) D$  ва  $n = 200 \div 2000$  айл/мин.



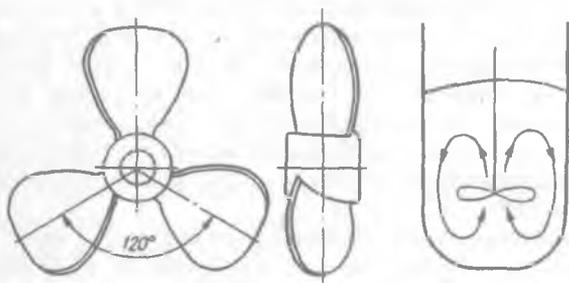
6.1- расм. Аралаштиргич турлари:

а) парракли; б) пропеллерли; в) турбинали.

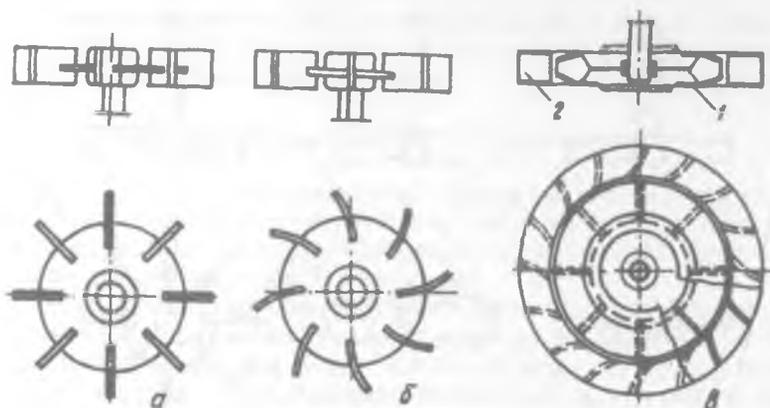


6.2- расм. Парракли аралаштиргичнинг турлари:

а) рамали; б) якорли; в) япроксимон.



6.3- расм. Пропеллерли аралаштиргич.



6.4- расм. Турбинали аралаштиргич турлари:

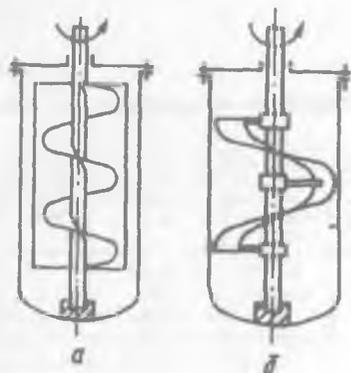
а) очик тўғри куракчали; б) очик қия куракчали; в) ёпик турбинали; 1 — турбина; 2 — йуналтиргич.

Бундай аралаштиргичнинг самарадорлиги жуда юқори. Турбинали аралаштиргични таркибида ўлчами 25 мм гача етадиган заррачаларни бор суюқликларни аралаштириш учун ҳам қўллаш мумкин.

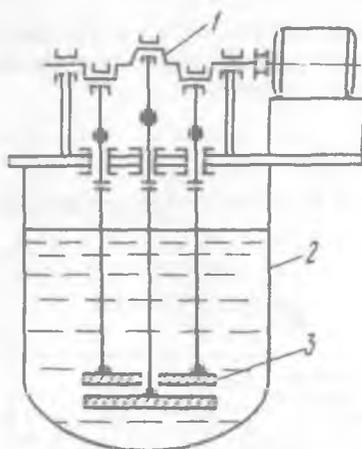
Кимё саноатида юқорида айтиб ўтилган аралаштиргичлардан ташқари шнекли, лентали, планетар, вибрацион ва бошқа аралаштиргичдан ҳам фойдаланилмоқда. Масалан, ноньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун шнекли ва лентали аралаштиргичлар ишлатилади (6,5- расм). Шнекли аралаштиргич эффектив қовушоқлик коэффициенти  $\mu_{эф} = 500$  Па.с бўлган массаларни узлуксиз циркуляция қилишга хизмат қилади. Бундай аралаштиргичнинг айланиш частотаси  $n = (1 \div 4)$  айл $^\circ$ с. Лентали аралаштиргичлар ёрдамида қовушоқлиги юқори бўлган ( $\mu_{эф} = 3 \cdot 10^3$  Па.с) ноньютон суюқликларни аралаштириш имконияти вужудга келади.

6.6- ва 6.7- расмда вибрацион ва планеталар аралаштиргич кўрсатилган. Ушбу қурилмалар катта ҳажмли ( $100 \text{ м}^3$ ) ва ўта катта ҳажмли ( $1000 \text{ м}^3$  ва ундан кўп) қурилмалардаги турли қовушоқликка эга бўлган ( $100$  П.с гача ва ундан кўп) ҳам ньютон, ҳам ноньютон суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган. Масалан, собик Ленинград технология институту таклиф этган аралаштиргичнинг вали узатманинг ташқи вали билан Гук шарнири орқали уланган (6.7- расм). Гук шарнири ёрдамида аралаштиргич икки хил тезлик билан (ўз ўқи атрофида бурчак тезлиги  $\omega_1$  ва узатма ўқи атрофида қўшимча планетар айланма тезлик  $\omega_2$ ) ҳаракатланади. Оқибатда қурилмадаги гидродинамик вазият яхшиланади.

Ҳамма аралаштиргичлар айланма ҳаракат тезлигининг қийматига кўра икки турга бўлинади: 1) секин ҳаракат қилувчи; 2) тез ҳаракат қилувчи. Агар паррак чеккасининг айланма ҳаракат тезлиги  $1 \text{ м/с}$  атрофида бўлса, бундай аралаштиргичлар (масалан, якорли, рамали ва бошқа) секин ҳаракат қилувчи аралаштиргич



6.5- расм. Шнекли (а) ва лента-ли (б) аралаштиргичлар.



6.6- расм. Вибрацион аралаштиргичли қурилма

1 — узатма; 2 — қобик; 3 — вибрацион аралаштиргич.

қаторига киради. Тез ҳаракат қилувчи аралаштиргичларда (масалан, винтли, турбинали ва бошқа) айланма ҳаракат тезлиги 10 м/с гача етиб боради. Аралашаётган суюқлик муҳитдаги гидродинамик режимга кўра ҳам аралаштиргичларнинг ҳаракат қилиш тезлиги даражасини белгилаш мумкин. Турбулент ва оралиқ режимда ишлатилаётган аралаштиргичлар тез ҳаракат қилувчи, ламинар режимда ишлатилаётгани эса секин ҳаракат қилувчи аралаштиргичлар деб юритилади.

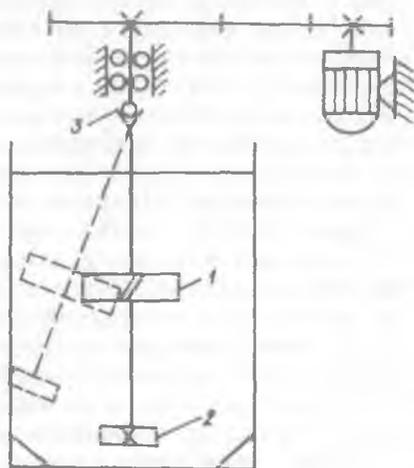
Аралашаётган суюқликнинг гидродинамик режими Рейнольдс мезонининг бошқа кўриши билан аниқланади:

$$Re_m = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{\rho n d^2}{\mu},$$

бу ерда  $n$  — аралаштиргичнинг айланиш частотаси, айл/с;

$\rho$  — аралашаётган суюқликнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — аралашаётган суюқликнинг қовушоқлиги, Па·с;  $d$  — аралаштиргичнинг диаметри, м.

Суюқлик ҳаракатининг ламинар режимидан оралиқ ёки турбулент режимга тўғри келган  $Re_m$  нинг критик сон қиймати асосан аралаштиргичнинг конструкциясига боғлиқ бўлади. Тез ҳаракат қилувчи ара-



6.7- расм. Планетар аралаштиргичли қурилма:

1 — ёлқ турбинали аралаштиргич; 2 — уч парракли аралаштиргич; 3 — Гук шарнири.

лаштиргич учун ўрта ҳисоб билан  $Re_{мкр} \approx 50$ . Айрим аралаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари 6.1-жадвалда берилган.

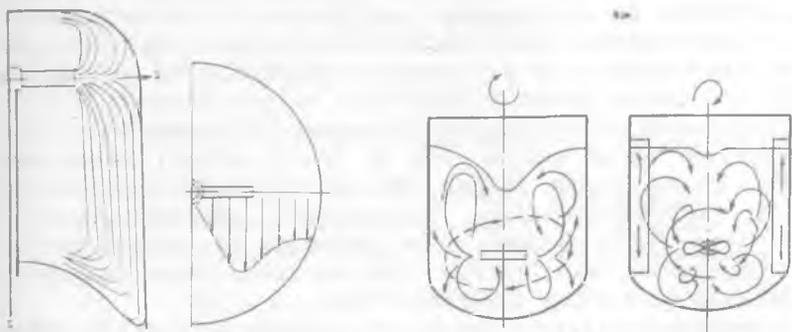
6.1-жадвал. Аралаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари.

Аралаштиргичларнинг тури	Режимлар чегарасидаги $Re_{тв}$ нияг қиймати		Аралаштиргичнинг қаршилик коэффициенти, $\xi_m$	Аппарат диаметрини аралаштиргич диаметрига нисбати, $D/d$
	ламинар ва оралик	оралик ва турбулент		
Катакли	50	$2 \cdot 10^2$	23,50	3—6
Парракли	10	$50—10^4$	0,88	1,5—2,5
Рамали	$10^3$	$10^4$	1,28	1,1—1,3
Уч парракли	$10^2$	$5 \cdot 10^2—10^3$	0,56	3—6
Ўпик турбинали	$10^2$	$10^3$	4,20	3—6
Очик турбинали	10	$10^2—10^3$	8,40	3—6
Олти парракли	50	$5 \cdot 10^2$	3,00	2—4

Аралаштиргичи бўлган қурилмада аралаштиргичнинг айланма ҳаракати таъсирида суюқликнинг уч ўлчамли мураккаб оқими юз беради. Агар суюқликнинг тезлигини  $w$  деб олсак, унинг тангенциал (айланма) улуши  $w_t$ , радиал улуши  $w_r$ , ўқ бўйича (аксиал) улуши  $w_z$  га тенг бўлади. Аралаштириш пайтидаги тезликларни ўлчаш шуни кўрсатдики, тангенциал тезликнинг ўртача қиймати *радиал* ва *аксиал* тезликларнинг ўртача қийматига нисбатан 10 марта кўп бўлиб,  $w_t$  нинг қиймати қурилманинг баландлиги бўйича деярли ўзгармайди ва амалий жиҳатдан аралаштиргичнинг баландлигига боғлиқ бўлмайди. Тангенциал тезлик қурилма диаметрининг маълум бир қийматига яқинлашганда ( $D = 0,75d$ ) максимал қийматига эришади ва сўнгра қурилма диаметрига нисбатан тескари пропорционаллик бўйича камайиб боради.

Аралаштиргич катта частота билан айланганда ( $Re_m > 10^2$ ) суюқлик марказдан қочма куч таъсирида аралаштиргич паррақлари устидан радиал йўналишда ҳаракат қилиб оқади. Бу оқим аралаштиргичнинг айланиш юзаси бўйлаб ҳаракат қилиб, идиш деворига етгандан сўнг икки қисмга ажралади: биринчи қисм қурилма девори бўйлаб, унинг туби томон ҳаракатланади; иккинчи қисм юқорига қараб, суюқликнинг эркин юзаси томон ҳаракатланади.

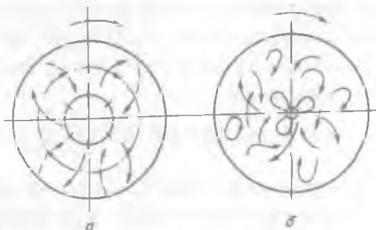
Радиал оқим пайдо бўлиши натижасида аралаштиргич қамраб олган оралик соҳа, яъни пасайтирилган босим соҳаси пайдо бўлади, бу соҳага суюқликнинг эркин юзаси ва идишнинг туби томонидан келаётган оқим интилади. Натижада бу соҳада қурилманинг юқори қисмида юқоридан пастга йўналган, пастки қисмида эса пастдан юқорига йўналган суюқлик-



6.8- расм. Аралаштиргичли қурилмадаги суюқлик заррачалари харакатининг траекториялари.

6.9- расм. Аралаштиргичли қурилмадаги суюқлик оқимининг шаклига қайтарувчи тўсиқларнинг таъсири:

а) тўсиқсиз; б) тўсиқ билан.



нинг аксиал оқими юз беради. Шундай қилиб, қурилмада барқарор меридианал оқим ёки барқарор мажбурий циркуляция ҳосил бўлади. Кўпинча ишлатиладиган қурилмада (агар идиш баландлигининг диаметрига нисбати  $H/D < 1,5$  бўлганда) икки контурли циркуляция пайдо бўлади (6.8- расм). Бошқа ҳолатда иккиламчи меридианал оқим бирламчи айланма оқимнинг устига қўшилиб кетади, бунда суюқликнинг уч ўлчамли мураккаб харакати пайдо бўлади. Натижада аралашаётган муҳит заррачаларининг турли йўналишлар бўйича силжиши юз беради.

Шундай қилиб, ламинар оқимда ( $Re_m < 10$ ) аралаштиргичли қурилмаларда кам ривожланган уч ўлчамли ва эркин циркуляцияга эга бўлган оқим ҳосил бўлади. Бундай шароитда марказий цилиндрсимон уюмлар бўлмайди, фақат периферия ва оралиқ соҳаларда оқимлар мавжуд бўлади. Оқимнинг турбулентлик даражаси ортган сари ( $10 > Re_m < 10^3$ ) мажбурий циркуляция ҳосил бўла бошлайди ва қурилмада периферия ва оралиқ соҳалардаги оқимлардан ташқари марказий цилиндрсимон уюмлар ҳам пайдо бўлади.

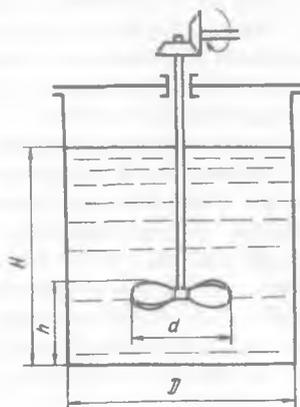
Айланувчан аралаштиргичлар ишлатилганда суюқлик юзасида воронка пайдо бўлиб, унинг чуқурлиги аралаштиргичнинг айланиш частотаси кўпайиши билан ортиб боради. Воронка ҳосил бўлишини йўқотиш учун тез ҳаракат қилувчи аралаштиргичли қурилманинг ички деворларига радиал қайтарувчи тўсиқлар ўрнатилади (6,9- расм). Бундай тўсиқларнинг энг мақбул сони 2—4 та бўлиб, унинг кенглиги  $B = 0,1 D$ , баландлиги эса  $h = 2d$ . Қайтарувчи тўсиқлар аралаштириш тезлигини бир оз оширади, аммо энергия сарфини 1,3—1,5 баробар кўпайтиради.

Аралаштиргич ёрдамида ҳосил бўлган оқимнинг таркиби аралаштиргич ва қурилманинг конструктив тузилишига ҳамда аралаштиргични ўрнатиш усулига боғлиқ бўлади. Агар турбинали ёки винтли аралаштиргич қурилманинг тубига яқинроқ ўрнатилган бўлса, у ҳолатда пастки циркуляция соҳаси камаяди. Бунда суюқлик оқимларининг йўналиши ўзгаради. Бир жинсли аралашадиган муҳит ҳосил қилиш учун ўқ (яъни аксиал) оқимларни ташкил қилиш зарур бўлади. Бундай шароитда диффузорли винтли аралаштиргичдан фойдаланиш таклиф этилади (6.10- расм). Диффузорнинг ички диаметри аралаштиргичнинг диаметридан каттароқ бўлади. Аралаштиргич билан диффузор биргаликда ўқли насос каби ишлайди.

Аралаштиргичларнинг муҳим катталиклари қаторига аралаштиргичнинг насосли эффекти ҳам қиради. Бу эффект вақт бирлиги ичида циркуляция қилинаётган суюқликнинг ҳажми билан белгиланиб, аралашаётган суюқликнинг қовушоқлиги кўпайиши билан камаяди.

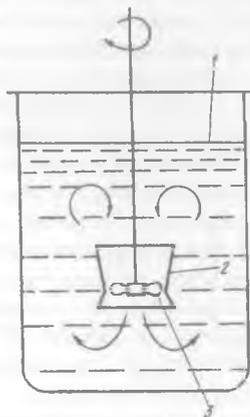
### 6.3-§. МЕХАНИК АРАЛАШТИРИШДАГИ ҚУВВАТ САРФИ

6.11- расмда ичида аралаштиргич ўрнатилган идиш кўрсатилган. Аралаштиргичнинг айланиши учун зарур бўлган энергия ишқаланиш кучларини енгилга ҳамда уюрмаларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг бузилишига сарфланади. Механик аралаштиришдаги энергия сарфини аниқлаш учун ўлчамларни анализ қилиш усулидан фойдаланилади. (2- боб). Тажрибалар шуни



6.10- расм. Диффузорли аралаштиргич:

1 — қурилма; 2 — диффузор; 3 — аралаштиргич.



6.11- расм. Аралаштириш учун энергия сарфини аниқлаш.

кўрсатдики, аралаштиргичнинг ишлаши учун зарур бўлган қувват  $N$  суюқликнинг зичлиги  $\rho$  ва қовушоқлиги  $\mu$ , айлантиргичнинг айланиш частотаси  $n$  ва унинг диаметри  $d$  га боғлиқ экан. Критериал боғлиқнинг умумий кўринишини аниқлаймиз. Дастлабки функционал боғлиқ қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$N = \varphi(\mu, \rho, n, d), \quad (6.1)$$

ёки

$$N = C\mu^x \rho^y n^z d^v \quad (6.2)$$

бу ерда  $C, x, y, z, v$  — сонли коэффициент ва даража кўрсаткичлари.

(6.2) тенгламада 5 та ўзгарувчан катталиқ бор. Демак,  $\pi$ -теоремага асосан, мезонларнинг сони  $5 - 3 = 2$ . Ушбу тенглама таркибидаги катталиқларнинг ўлчов birlikларини ёзамиз:

$$[N] = \text{Вт} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3};$$

$$[\mu] = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}};$$

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad [n] = \frac{1}{\text{с}}; \quad [d] = \text{м}.$$

Ўлчамларнинг тенгласини тузамиз:

$$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \left( \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}} \right)^x \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)^y \left( \frac{1}{\text{с}} \right)^z (\text{м})^v.$$

Ушбу тенгламани бошқача кўринишга келтирамиз:

$$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} = \text{кг}^{x+y} \text{с}^{-x-z} \text{м}^{-x-3y+v}$$

Асосий birlikлар учун тенгламалар системасини тузамиз:

$$\begin{array}{rcl} \text{кг} & & 1 = x + y \\ \text{м} & & 2 = -x - 3y + v \\ \text{с} & & -3 = -x - z \end{array}$$

Ушбу тенгламаларга кирган қийматларни  $x$  орқали ифодалаб қуйидагиларга эришамиз:

$$y = 1 - x; \quad v = 5 - 2x; \quad h = 3 - x.$$

(6.2) тенгламани қуйидаги кўринишда қайта ёзамиз:

$$N = C\rho n^3 d^5 (\mu / \rho n d^2)^x$$

ёки

$$\frac{N}{\rho n^3 d^5} = C(\rho n d^2 / \mu)^{-x} \quad (6.3)$$

Ўлчамсиз комплекс  $\frac{N}{\rho n^3 d^5}$  Эйлер мезони ёки қувват мезони  $K_N$

деб аталади ва  $Eu_m$  билан, мезон  $\frac{\rho n d^2}{\nu}$  Рейнольдс мезонининг бошқа бир кўриниши бўлиб,  $Re_m$  билан белгиланади:

$$Eu_m = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N \quad (6.4); \quad Re_m = \frac{\rho n d^2}{\mu} \quad (6.5)$$

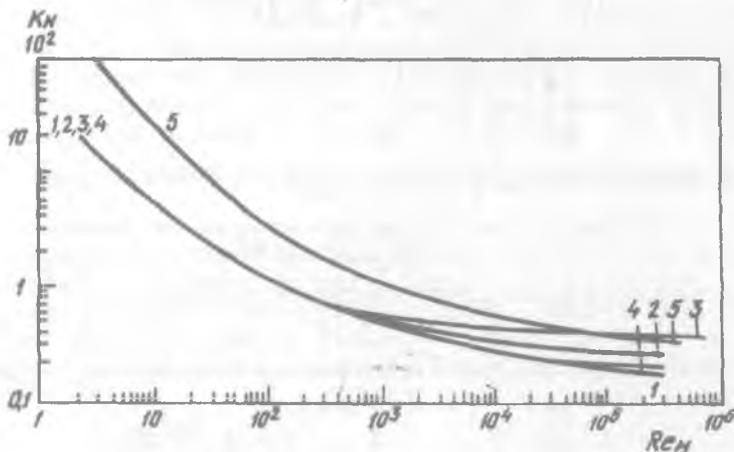
Демак, механик аралаштириш пайтидаги энергия сарфининг умумий тенгласини қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Eu_m = C Re_m^k \quad (6.6)$$

Коэффициент  $C$  ва даража кўрсаткичи  $k$  нинг қийматлари тажриба йўли билан аниқланиб аралаштиргичнинг турига, қурилманинг тузилишига ва аралаштириш жараёнининг режимига боғлиқ бўлади. Айрим аралаштиргичлар учун  $K_N = f(Re_M)$  боғлиқликнинг график кўриниши 6.12 расмда тасвирланган.

Агар қурилмадаги суюқликнинг баландлиги  $H$ , унинг диаметри  $D$  га тенг бўлмаса, (6.4) тенглама бўйича аниқланган қувватнинг қиймати тузатиш коэффициентига кўпайтирилиши керак:

$$\bar{f}_H = \sqrt{\frac{H}{D}}. \quad (6.7)$$



6.12- расм. Пропеллерли (1—4) ва рамали (5) аралаштиргичлар учун  $K_N = f(Re_M)$  боғлиқликнинг кўриниши:

1 —  $H/D=3$ , тўсиқлари бўлмаган қурилма; 2 —  $H/D=4$ , тўсиқлари бўлмаган қурилма; 3 —  $H/D=3$  тўсиқлари булган қурилма; 4 — диффузорли қурилма; 5 —  $H/D=1,15$ .

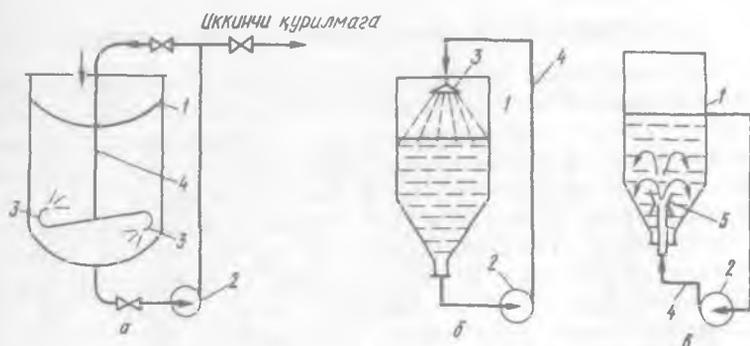
Аралаштиргичнинг двигатели истеъмол қиладиган қувват (кВт) тегишли тузатиш коэффициентларини ҳисобга олганда қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{gb} = \frac{1,3Nf_m f_{ш} f_{3м} f_r f_H}{10^3 \eta} \quad (6.8)$$

бу ерда  $f_m = 1,3$  — аралаштиргични ишга тушириш моментини ҳисобга олувчи коэффициент;  $f_{ш} = 1,1 \div 1,2$  — қайтарувчи тўсиқлари бўлмаган ва ички деворининг гадир-будурлиги катта бўлган қурилмалар учун;  $f_{3м} = 2 \div 3$  — ичида змеевик бўлган қурилмалар учун;  $f_r = 1,1$  — термометр учун гильзаси бўлган қурилмалар учун;  $f_H$  — (6.7) тенглама бўйича;  $\eta = 0,8 \div 0,95$  — узатишнинг фойдали иш коэффициенти.

#### 6.4- §. ЦИРКУЛЯЦИОН АРАЛАШТИРИШ

Циркуляцион аралаштиришнинг чизмалари 6.13- расмда кўрсатилган. Суюқлик муҳитини тезда аралаштириш учун циркуляцион насосдан фойдаланилади. Суюқлик ҳайдаладиган трубопроводлар горизонтал юзага нисбатан бир оз қия қилиб, қурилма

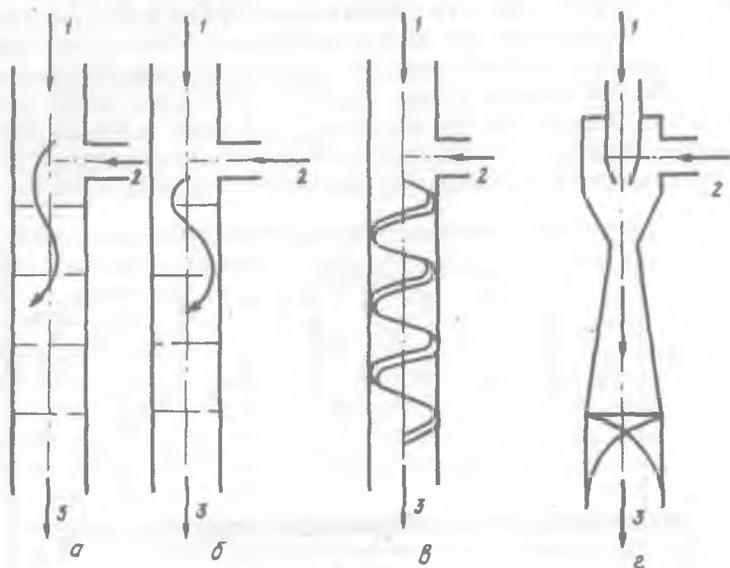


6.13- расм. Циркуляцион аралаштиришнинг чизмаси.

а, б — циркуляцион насос билан; в — циркуляцион насос ва эжектор билан; 1 — қурилма; 2 — циркуляцион насос; 3 — сочқич; 4 — трубопровод; 5 — эжектор.

деворига уринма ҳолатида бирлаштирилади. Трубопроводларнинг учлари махсус насадкалар билан таъминланган бўлади. Насадка ёрдамида суюқлик қурилманинг ҳажми бўйича сочиб берилади. Циркуляцион насос сифатида марказдан қочма ва ингичка оқимли насослар ишлатилади. Насоснинг иш унумдорлиги кўпайган сари циркуляциянинг самарадорлиги ортади.

Насос ёрдамида циркуляцион аралаштириш учун зарур бўлган энергия сарфи 5- бобда келтирилган тенгламалар ёрдамида аниқланади.



6.14- расм. Оқимда аралаштириш учун ишлатиладиган қурилма чизмаси. Киритилган қўшимча:

а — диафрагма; б — яримта тўсиқлар; в — винт; г — ингичка оқимли аралаштиргичда винт; 1, 2 — аралашма компонентларининг кириши; 3 — аралашманинг чиқиши.

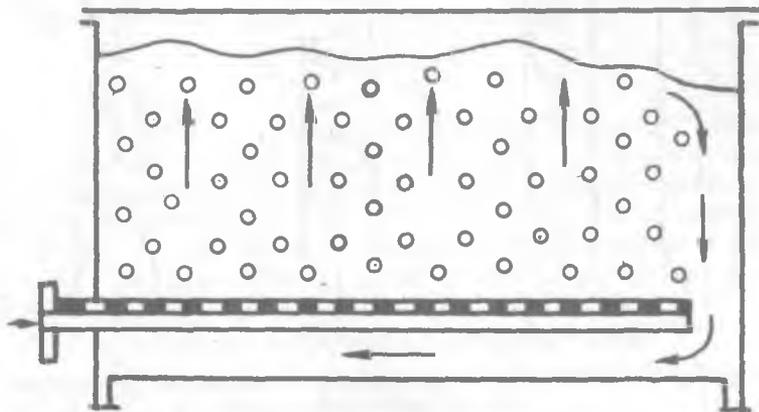
#### 6.5- §. ТУРБУЛИЗАТОРЛАР ЁРДАМИДА АРАЛАШТИРИШ

Суюқликни оқим бўйлаб кўп маротаба аралаштириш учун трубопроводларга ёки уларга жойлаштирилган аралаштиргичларга махсус турбулизаторлар ўрнатилади. Турбулизаторлар (бошқача қилиб айтганда статик аралаштиргичлар) қаторига диафрагма оқим, кесувчи яримта тўсиқ ва винтлар қиради (6.14- расм). Турбулизаторларга кирганда оқим ўзининг қиймати ва йўналишини ўзгартиради. Аралаштиришнинг ушбу турида оқимнинг энергияси сарф бўлади. Турбулизаторлар ёрдамида олиб бориладиган аралаштириш кўп энергия талаб қилади. Бу усул суюқликлар ўзаро эрувчанлик хоссаларига эга бўлган ва аралашма компонентларининг қовушоқлиги нисбатан кам бўлган шароитда ишлатилади. Суюқлик оқими катта тезлик билан ҳаракатланганда ва трубопроводнинг узунлиги нисбатан катта бўлганда турбулизаторлар ёрдамида аралаштириш мақсадга мувофиқдир.

Оқимнинг ўзида аралаштиришни ҳисоблаш пайтида турбулизаторлар маҳаллий қаршиликлар сифатида олинади.

#### 6.6- §. ПНЕВМАТИК АРАЛАШТИРИШ

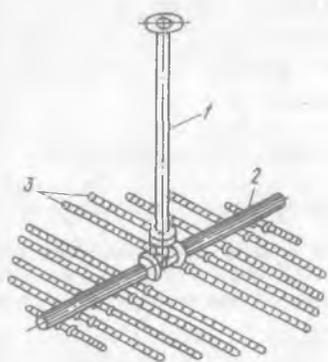
Қовушоқлиги унча катта бўлмаган (тахминан  $\mu < 200$  Па·с) суюқликларни аралаштириш учун ҳамда донасимон материалларни сувда ювиш учун пневматик усул (ёки барботажли аралаштириш) қўлланилади. Айрим шароитларда пневматик аралаштириш учун ҳаво ўрнига сув буги ишлатилади, бунда аралаштиришдан ташқари суюқликнинг иссиши ҳам юз беради. Пневматик аралаштириш учун газ ёки буг суюқлик таркибига соплодаги тешиклар (ёки барботёр) орқали ўтади. Бунда газ (ёки буг) нинг ингичка оқимлари пуфакчаларга ажралиб, суюқлик массаси бўйлаб юқорига кўтарилади (6.15- расм). Бундай шароитда ҳосил бўлган пуфакчалар ўзи билан бирга суюқликнинг заррачаларини эргаш-



6.15- расм. Пневматик аралаштиргич.

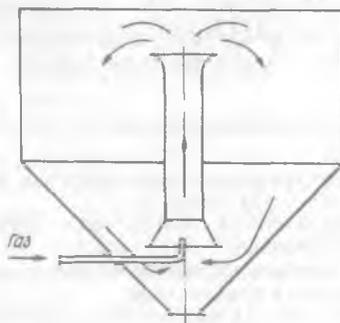
тириб кетади, бундан ташқари пуфакчаларнинг ҳаракатига қарама-қарши, суюқликнинг барботаж қилинмаган қисмининг ҳаракати бошланади. Натижада суюқлик муҳитида аралаштириш юз беради.

Энгил учувчан суюқликларни пневматик усул билан аралаштириш мумкин эмас, чунки бундай шароитда улар аралаштираётган газ билан бирга чиқиб кетади. Аралаштириш учун турли тузилишли барботёрлар ишлатилади. Агар аралаштириш пайтида газ билан суюқликнинг зич тўқнашуви зарур бўлса, у ҳолда 6.16- расмда кўрсатилган барботёр қўлланилади. Барботёрдаги газнинг келтирилган тезлиги 0,1 м/с гача етиши мумкин, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса  $0,25 \div 0,4$  м/с ни ташкил этади.



6.16- расм. Барботёрнинг тузилиши:

1 — вертикал ҳаво узатувчи труба;  
2 — горизонтал ҳаво узатувчи труба;  
3 — ҳавони тарқатувчи трубалар.



6.17- расм. Эрлифтдан фойдаланилган аралаштиргич.

Сочилувчан донатор жисмларни пневматик аралаштириш учун эрлифт принциpidан фойдаланилади (6.17- расм). Ҳаво компрессор ёрдамида марказий трубага юборилади. Бундай шароитда марказий труба ичида газ, суюқлик ва қаттиқ жисмнинг аралашмаси пайдо бўлади, бу аралашманинг зичлиги идишнинг бошқа қисмидаги аралашма зичлигидан кам бўлади. Ушбу зичликларнинг айирмаси таъсирида қурилмадаги бутун массанинг циркуляцион ҳаракати пайдо бўлади. Эрлифтдаги газнинг келтирилган тезлиги 2 м/с гача, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса 1 м/с гача етади.

Айниқса газни (масалан, ҳаво кислородини) суюқлик билан кимёвий реакцияга кириши зарур бўлганда пневматик усулни қўллаш мақсадга мувофиқ. Бундай аралаштириш *аэрация* деб юритилади. Аэрацион қурилмаларнинг самарадорлиги суюқлик муҳитнинг аралашшидан ташқари кислород билан тўйиниш даражаси орқали ҳам характерланади.

Пневматик аралаштирувчи қурилмаларни ҳисоблаш тегишли босимни ва сиқилган ҳаво сарфини аниқлашдан иборатдир. Аралаштириш учун зарур бўлган сиқилган ҳавонинг босими ( $P$ , Па) қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$P = 1,2 H \rho_c g + P_0 \quad (6.9)$$

бу ерда  $H$  аралашаётган суюқлик устунининг баландлиги, м;  $\rho_c$  — аралашаётган суюқликнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $P_0$  — суюқлик устидаги босим, Па.

Ҳаво линиясидаги босимнинг йўқолишини суюқлик устуни қаршилигининг 20 процентига тенг деб олинган (коэффициент 1, 2)

Қурилмадаги суюқликнинг  $1 \text{ м}^2$  эркин юзасига тўғри келган ҳаво сарфини қуйидагича қабул қилинади: секин аралаштиришда —  $0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$  мин. тез аралаштиришда —  $1 \text{ м}^3/\text{м}^2$  мин (ёки  $60 \text{ м}^3/\text{м}^2$  соат) Барботёр тешиқларидан чиқаётган газнинг тезлиги  $20 \div 40 \text{ м}/\text{с}$  ни ташкил этади.

## ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 6.1. Суюқлик муҳида аралаштириш жараёнининг аҳамияти. Аралаштиришнинг нечта усули мавжуд?
- 6.2. Парракли ва винтли аралаштиргичнинг асосий характеристикалари ва ишлатилиши.
- 6.3. Турбинали аралаштиргичнинг турлари, унинг бошқа механик аралаштиргичлардан афзалликлари.
- 6.4. Ньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун қандай аралаштиргичлардан фойдаланилади? Аралаштириш пайтидаги суюқлик ҳаракатининг таркиби қандай тузилган?
- 6.5. Механик аралаштириш учун энергия сарфининг умумий критериял тенгламасини қандай келтириб чиқариш мумкин?
- 6.6. Суюқликни оқим бўйлаб аралаштириш учун қандай турбулизаторлар ишлатилади?
- 6.7. Пневматик аралаштиришнинг моҳияти. Бундай аралаштириш учун ҳавонинг сарфини қандай аниқлаш мумкин?
- 6.8. Эрлифт ва аэрация тушунчалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 6.9. Механик аралаштиргичи бўлган қандай замонавий қурилмаларни биласиз?
- 6.10. Суюқлик муҳидаги аралаштириш жараёнларини қайси принциплар асосида тезлаштириш мумкин?

## 7- б о б. СУЮҚЛИҚ ТУРЛИ ЖИНСЛИ СИСТЕМАЛАРНИ АЖРАТИШ

### 7.1-§. ТУРЛИ ЖИНСЛИ СИСТЕМАЛАРНИНГ ТУРЛАРИ ВА УЛАРНИ АЖРАТИШ УСУЛЛАРИ

Ҳар хил фазалардан (масалан, суюқлик — каттиқ модда, суюқлик — газ ва ҳоказо) таркиб топган аралашмалар *турли жинсли система* деб аталади. Кўпчилик турли жинсли системалар ишлаб чиқариш шароитида технология жараёнларини амалга оширишда ҳосил бўлади. Ҳар қандай турли жинсли система икки ёки ундан кўп фазадан таркиб топади. Заррачалари жуда

майдаланган фаза *дисперс ёки ички фаза* дейилади. Дисперс фаза заррачаларини ўраб олган фазаси эса *дисперсион ёки ташқи фаза* дейилади.

Фазаларнинг физик ҳолатига кўра турли жинсли системалар қуйидаги гуруҳларга бўлинади: *суспензиялар, эмульсиялар, кўпиклар, чанглар, тутунлар, туманлар.*

Суюқлик ва қаттиқ модда заррачаларидан таркиб топган аралашма *суспензия* дейилади. Қаттиқ модда заррачаларининг ўлчамига кўра суспензиялар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: дағал суспензиялар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан ортиқ); *майин суспензиялар* (заррачалар ўлчами 0,5 ÷ 100 мкм); *лойқасимон суспензиялар* (заррачалар ўлчами 0,1 ÷ 0,5 мкм атрофида); *коллоид эритмалар* (заррачалар ўлчами 0,1 мкм дан кичик). Саноатда суспензиялар жуда кўп учрайди. Қаттиқ сочилувчан моддаларни суюқлик билан аралаштириш пайтида суспензия ҳосил бўлади. Озиқ-овқат саноатидан ҳам суспензияларга жуда кўп мисоллар келтириш мумкин. Масалан, крахмалли сут, пиво суслоси ва ҳоказо.

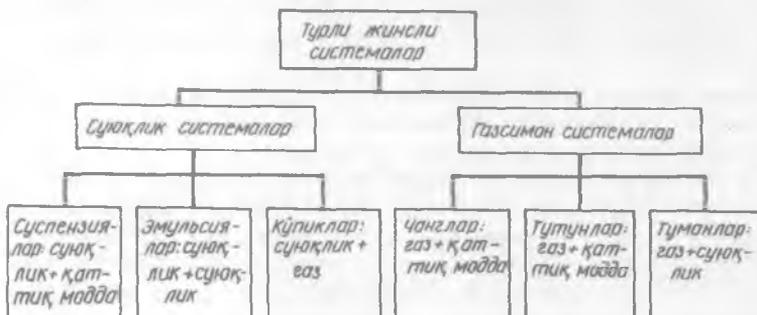
Эмульсиялар икки хил ўзаро аралаштирилган суюқликлардан иборат бўлиб, бунда биринчи суюқликнинг ичида иккинчи суюқликнинг томчилари тарқаган бўлади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг интервалда ўзгариши мумкин. Одатда эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралиб кетади. Агар томчининг ўлчами анча кичик (0,4 ÷ 0,5 мкм дан кам) бўлса ёки стабилизатор қўшилса эмульсия турғун бўлади. Дисперс фазанинг концентрацияси ортиши билан фазалар инверсияси (яъни ўзаро алмашиниши) содир бўлиши мумкин.

Ўз таркибида газ пуфакчалари тутган суюқ система *кўпик* деб аталади. Суюқлик — газ системаси ўзининг хоссасига кўра эмульсияга яқин туради. Бир қатор гидромеханик ва модда алмашиниш қурилмаларида (барботажли скруббер, ғалвирсимон тарелкали абсорбер ва ҳоказо) суюқлик қатлампидан газнинг ўтиш жараёнида кўпикли қатламлар ҳосил бўлади.

Ўз таркибида қаттиқ модданинг майда заррачаларини тутган газ системалари *чанглар* деб аталади. Чанг одатда қаттиқ моддаларни механик усуллар билан майдалаш ва бир жойдан иккинчи жойга узатиш пайтида ҳосил бўлади. Чанг таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами 5 ÷ 100 мкм оралиғида бўлади.

Тутун таркибида ўлчами 0,3 ÷ 5 мкм га тенг бўлган қаттиқ модда заррачалари бўлади. Тутунлар буг (ёки газ) ларнинг суюқ ёки қаттиқ ҳолатга конденсацияланиш жараёни орқали ўтишда ҳосил бўлади. Бундан ташқари, тутунлар қаттиқ ёқилғиларнинг ёниши пайтида ҳам пайдо бўлади.

Туманлар суюқлик ва газ фазалардан таркиб топган бўлади. Масалан, сув бугларини ҳаво ёрдамида совитиш процессида бугнинг конденсацияланиши натижасида туман ҳосил бўлади. Туман таркибидаги суюқлик заррачаларнинг ўлчами 0,3 ÷ 3 мкм га тенг.



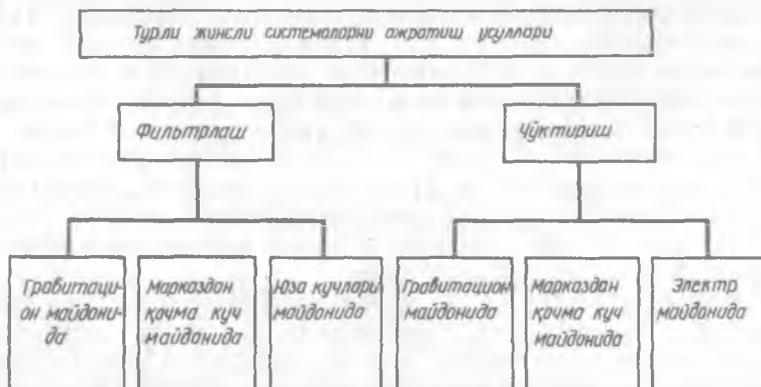
7.1- расм. Турли жинсли системаларнинг турлари.

Чанг, тутун ва туманлар аэродисперс системалар (ёки аэрозоллар) деб юритилади. 7.1- расмда турли жинсли системаларнинг турлари (синфлари) берилган.

Техникада турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазалар ёки компонентларга ажратишга тўғри келади. Ажратиш усуллари танлашда турли жинсли системани ташкил этувчи фазаларнинг ҳолатига (суюқ, қаттиқ ва газсимон), қаттиқ ёки суюқ заррачаларнинг ўлчамига, фазалар ўртасидаги зичлик фарқига, муҳит қовушоқлигига аҳамият бериш керак.

Кимёвий технологияда турли жинсли системаларни ажратиш учун қуйидаги гидромеханик усуллардан фойдаланилади; 1) чўктириш, 2) филтрлаш, 3) центрифугалаш, 4) суюқлик ёрдамида ажратиш. 7.2- расмда турли жинсли системаларни ажратиш турлари келтирилган.

Турли жинсли системаларни техникада ажратиш учун гравитацион, марказдан қочма куч ва электр майдонларидан ҳамда суюқлик ва газлардаги юза кучлари босимининг майдонидан фойдаланилади.



7.2- расм. Турли жинсли системаларни ажратиш усуллари.

Огирлик инерция (жумладан, марказдан қочма куч) ёки электростатик куч ёрдамида суюқлик ва газсимон системалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни ажратиш чўктириш деб аталади. Агар чўктириш огирлик кучи таъсирида олиб борилса, бу жараён тиндириш деб юритилади. Тиндириш асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун ишлатилади.

Фильтрлаш — суюқ ва газсимон аралашмаларни говаксимон тўсиқ фильтр ёрдамида ажратишдан иборат. Бу жараёнда говаксимон тўсиқ суюқлик ёки газни ўтказди, муҳитдаги қаттиқ модда заррачаларини еса тутиб қолади. Фильтрлаш босим ёки марказдан қочма куч таъсирида олиб борилади ва асосан суспензия ҳамда чангларни тўла тозалаш учун ишлатилади.

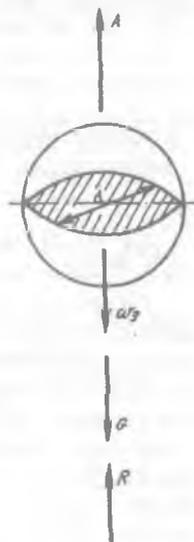
Центрифугалаш — суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч таъсирида яхлит ёки говаксимон тўсиқлар ёрдамида ажратиш жараёнидир. Суюқлик ёрдамида ажратиш усули деб газ таркибида бўлган қаттиқ заррачаларни бирор суюқлик иштирокида тутиб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён огирлик ёки инерция кучи таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Баъзан бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланилади.

Турли жинсли системаларни ажратишнинг юқорида баён этилган усуллари саноатда чўктиргичлар, чанг чўктирувчи камералар, фильтрлар, циклонлар, гидроциклонлар, центрифугалар, электрофильтрлар скрубберлар ва шу каби курилмаларда олиб борилади.

## 7.2-§. ГРАВИТАЦИОН ЧЎКТИРИШ

Чўктириш усули суспензия, эмульсия ва чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Чўктириш тезлиги кичик бўлгани сабабли бу усул асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун қўлланилади. Чўктириш жараёни чангли газлар, суспензия ва эмульсиялар таркибидаги майда қаттиқ заррачаларнинг огирлик кучи таъсирида қурилма тубига чўкишига асосланган. Чўктириш жараёни тиндирувчи курилмаларда олиб борилади.

Чўктириш тезлигини аниқлаш учун алоҳида олинган шарсимон қаттиқ заррачаларнинг суюқлик муҳитида эркин чўкишини текшира- миз. Бунда заррачага огирлик кучи  $G$ , кўтариш кучи  $A$  ва муҳитнинг қаршилик кучи  $R$  таъсир этади (7.3- расм). Чўктиргичнинг ҳаракатлан- тирувчи кучи ролини огирлик ва кўтариш



7.3- расм. Чўкаётган заррачага таъсир қилаётган кучлар:

$G$  — огирлик кучи;  
 $A$  — кўтариш кучи;  
 $R$  — қаршилик кучи;  
 $d$  — заррачанинг диаметри;  $\omega$  — заррачанинг эркин чўкиш тезлиги.

кучлари ўртасидаги фарқ яъни заррачаларнинг суюқликдаги оғирлиги бажаради:

$$P = G - A = \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) \quad (7.1)$$

бу ерда  $d$  — заррача диаметри, м;  $g$  — оғирлик кучи тезланиши, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_k$  — заррача зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  — мухит зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Мухитнинг қаршилиги  $R$  заррача йўналишига қарама-қарши бўлиб, ишқаланиш ва инерция кучидан таркиб топган. Ламинар оқимда ишқаланиш кучи инерция кучига нисбатан катта бўлади. Стокс қонунига кўра ламинар режимида шарсимон заррачанинг чўкишида мухитнинг қаршилик кучи  $R$  қуйидаги тенглама билан топилади:

$$R = 3\pi d \mu \omega_s, \quad (7.2)$$

бу ерда  $\mu$  — мухитнинг динамик қовушоқлиги, Па·с;  $\omega_s$  — заррачанинг эркин чўкиш тезлиги, м/с

Чўкаётган заррача дастлаб тезроқ чўкади, бир оздан сўнг мухитнинг қаршилик кучи ҳаракатлантирувчи кучга тенглашганда ўзгармас тезлик билан бир хилда чўка бошлайди. Шу ўзгармас тезлик чўкиш тезлиги дейилади. Демак заррача ўзгармас тезликка эга бўлганда  $P = R$  бўлади.  $P$  ва  $R$  нинг қийматини тенглаштириб қуйидагиларни оламыз:

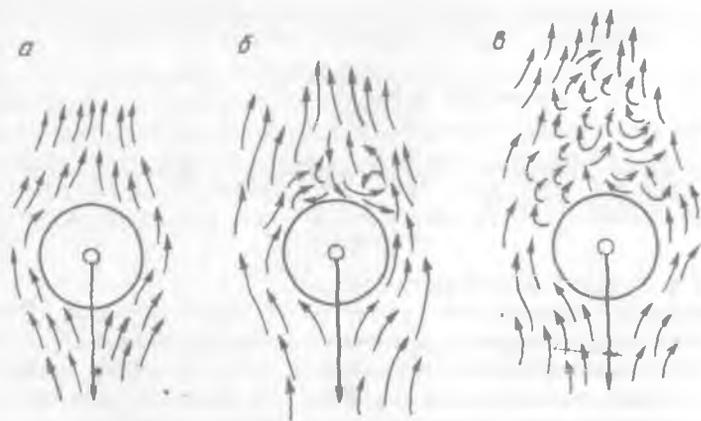
$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) = 3\pi d \mu \omega_s,$$

бу ердан чўкиш тезлиги

$$\omega_s = \frac{d^2 g (\rho_k - \rho_m)}{18\mu}. \quad (7.3)$$

Бу (7.3) тенглама Стокс тенгламаси деб юритилади ва  $Re \leq 2$  бўлганда ишлатилади.

7.4- расмда каттиқ шарсимон заррачанинг суюқликдаги ҳаракати кўрсатилган. Тезлик ва заррачанинг ўлчами кичик бўлганда ёки мухитнинг қовушоқлиги катта бўлганда, заррача суюқликнинг чегара қатлами билан қопланган бўлади, бундай ҳолатда оқим заррачани силлик айланиб ўтади (7.4- расм, а) Ламинар режимида оқимнинг энергияси асосан ишқаланиш қаршилигини енгилга сарфланади. Оқимнинг турбулентлиги ортиши билан (масалан, жисм ҳаракати тезлигининг кўпайиши) инерция кучларининг таъсири кўпая бошлайди. Ушбу кучлар таъсирида каттиқ заррача юзасидаги чегара қатлам узилади, оқибат натижада заррачанинг орқа томони атрофида тартибсиз маҳаллий уюрмалар пайдо бўлади (7.4- расм, б) Рейнольдс критерийси маълум қийматларга эга бўлганда сўнг, яъни ривожланган турбулент режимида (7.4- расм, в) ишқаланиш қаршилигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки бунда асосий кучни заррачанинг олд томонидаги қаршилик ташкил этади. Бундай шароитда автомедел режими бошланади. Ривожланган турбулентликда (яъни автомедел режи-



7.4- расм. Каттиқ шарсимон заррачанинг суюкликдаги ҳаракати:

а — ламинар оқим; б — оралик режим; в — турбулент оқим.

мида) муҳитнинг қаршилик коэффиценти ўзгармас бўлади ( $\xi = 0,44 = \text{const}$ ).

Турбулент режимда ( $Re > 500$ ) заррачанинг орқа томонида уярма оқимлар пайдо бўлади ва шу билан биргаликда бир оз сийракланиш юз беради; бу ҳолат муҳит қаршилигининг кўпайишига олиб келади ва натижада заррачанинг чўкиш тезлиги секинлашади.

Турбулент режимда  $Re > 500$  бўлганда, инерция кучлари ишқаланиш кучларидан устун туради. Бунда қаршилик кучи  $R$  Ньютон қонунига кўра топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho_k \omega^2}{2} \quad (7.4)$$

бу ерда  $\xi$  — қаршилик коэффиценти;  $F$  — заррачанинг ҳаракат йўналишига бўлган текисликка туширилган проекцияси.

Қаршилик коэффицентининг қиймати  $Re$  нинг сон қийматига кўра аниқланади

агар  $Re \leq 2$  бўлганда  $\xi = \frac{24}{Re}$ ;

агар  $500 > Re > 2$  бўлганда  $\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$ ;

агар  $Re > 500$  бўлганда  $\xi = 0,44$ .

Шарсимон заррача учун  $F = \frac{\pi d^2}{4}$ .

Турбулент режим учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_k - \rho_m) = \xi F \frac{\rho_k \omega^2}{2}$$

$G$ ,  $\xi$  ва  $F$  нинг қийматларини тенгламага қўйгандан сўнг чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\omega_3 = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_k - \rho_m)}{\rho_m}} \quad (7.5)$$

Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги  $\omega'$  қуйидагича аниқланади:

$$\omega' = \varphi \omega_3 \quad (7.6)$$

бу ерда  $\varphi$  — шакл коэффициенти

Шарсимон заррачалар учун  $\varphi = 1$  деб олинади. Шарга ўхшамаган бошқа заррачаларнинг шакл коэффициенти  $\varphi < 1$  бўлади. Масалан: думалоқ заррачалар учун  $\varphi = 0,77$ ; учбурчак шаклдаги заррачалар учун  $\varphi = 0,66$ ; узунчок заррачалар учун  $\varphi = 0,58$ ; пластинкасимон заррачалар учун  $\varphi = 0,43$ .

(7.3), (7.5), (7.6) тенгламалар орқали эркин чўкиш тезлиги, яъни алоҳида олинган заррачанинг суюқлик ёки газ муҳитидаги эркин чўкиши аниқланади.

Ҳақиқий шароитда чўктириш жараёни маълум ҳажмда, қаттик заррачаларнинг концентрациялари катта бўлганда олиб борилади. Бунда сиқилган ҳолатдаги чўкиш юз беради. Сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлиги  $\omega_r$  эркин чўкиш тезлигидан кичик бўлади, яъни  $\omega_r < \omega_3$  чунки сиқилган ҳолатдаги чўкишда умумий қаршилик муҳитнинг қаршилиги ва заррачаларнинг бир-бирига ишқаланиши ҳамда урилиши натижасида ҳосил бўлган қаршилиқлар йиғиндиси тенг бўлади.

Тахминий ҳисоблашлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини (яъни ҳақиқий чўкиш тезлигини) шарсимон заррача назарий чўкиш тезлигининг ярмига тенг деб олинади:

$$\omega_r = 0,5 \omega_3 \quad (7.7)$$

Нотўғри шаклга эга бўлган заррачалар учун  $\omega_3$  ни ҳисоблашда  $d$  нинг ўрнига  $d_3$  олинади:

$$d_3 = \sqrt{\frac{6V}{\pi}} \quad (7.8)$$

бу ерда  $d_3$  — эквивалент диаметр;  $V$  — чўкаётган заррачанинг ҳажми.

Ҳамма режимлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлашда қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re = \frac{Ar \cdot e^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar \cdot e^{4,75}}} \quad (7.9)$$

бу ерда  $Re = \frac{\omega_r d \rho_m}{\mu}$  — Рейнольдс мезони;

$Ar = \frac{d^3 \rho g (\rho_k - \rho_m)}{\mu^2}$  — Архимед мезони;

$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_p}$  — суюқликнинг суспензиядаги ҳажм жиҳатдан олинган

улуши:  $V_0$  — суюқликнинг суспензиядаги ҳажми,  $m^3$ ;  $V$  — қаттиқ заррачаларнинг суспензиядаги ҳажми,  $m^3$ ;

Сиқилган ҳолатдаги заррачанинг чўкиш тезлигини аниқлаш учун аввало  $Ar$  ва  $\varepsilon$  нинг қиймати топилади, сўнгра бу қийматлар (7.9) тенгламага қўйилиб,  $Re$  нинг миқдори ҳисобланади. Кейинчалик Рейнольдс мезонидан чўкиш тезлиги аниқланади:

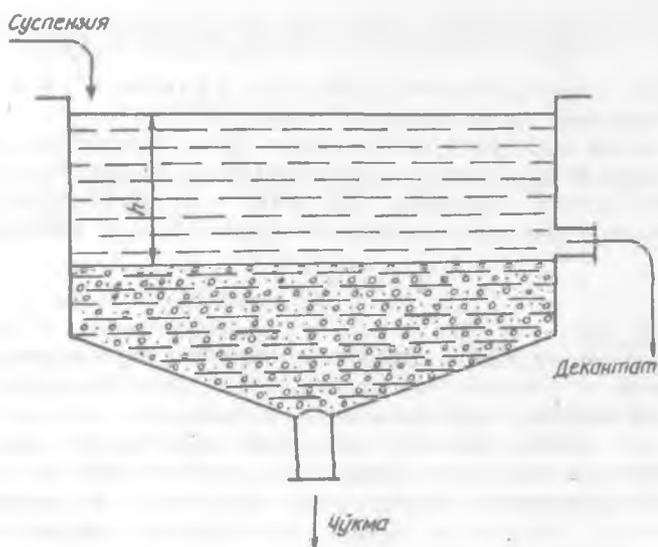
$$\omega_r = \frac{Re_{\mu}}{\varphi_{\mu} \cdot d} \quad (7.10)$$

(7.3), (7.5) ва (7.10) ифодадан кўриниб турибдики, чўкиш тезлигининг қийматини белгилувчи асосий катталиқлар қаторига муҳитнинг қовушоклиги ва қаттиқ заррачанинг ўлчами кирди. Чўкиш жараёнини тезлаштириш учун кўпинча суспензиянинг температураси технология томонидан мумкин бўлган даражагача қиздирилади, чунки температуранинг кўтарилиши билан қовушоклик пасаяди, натижада чўкиш жараёни тезлашади. Бундан ташқари, чўкиш жараёнини тезлаштириш учун қаттиқ заррачаларни коагуляция қилиш ҳоли яхши натижа беради. Заррачаларнинг ўлчамини коагуляция йўли билан катталаштириш учун одатда суспензияга коагулянтлар қўшилади. Суспензияга коагулянтлар қўшилганда молекулаларнинг ўзаро тортишиш кучлари таъсирида майда заррачалар бирлашиб, катта-катта конгломератлар ҳосил қилади, натижада чўкиш тезлиги кўпаяди. Коагулянтлар сифатида бентонитлар, сувда эрувчан элетролитлар, полиакриламид, пектин ва бошқалар ишлатилади.

### 7.3-§. ЧЎҚТИРУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Чўқтириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўқтириш жараёнидан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Чўқтириш жараёни чўқтирувчи ёки қуйилтирувчи қурилмаларда олиб борилади. Чўқтириш қурилмалари даврий, узлуксиз ва ярим узлуксиз режимда ишлатиладиган қурилмаларга бўлинади. Ўз навбатида узлуксиз ишлайдиган чўқтириш қурилмаси бир, икки ва кўп ярусли бўлади. Чўқтириш қурилмаларининг айрим турлари билан танишамиз.

7.5- расмда даврий ишлайдиган чўқтириш қурилмаси кўрсатилган. Бу қурилма конус асосли цилиндрсимон идиш бўлиб, унга аралашма масалан, суспензия юқоридан берилади. Аралашма қурилмада маълум вақт тиндирилгандан сўнг (агар заррачалар зичлиги муҳитнинг зичлигидан катта, яъни  $\rho_k > \rho_m$  бўлса) заррачалар қурилманинг пастки қисмига чўқади. Қурилманинг юқори қисмида эса тозаланган ва баландлиги  $h$  га тенг бўлган



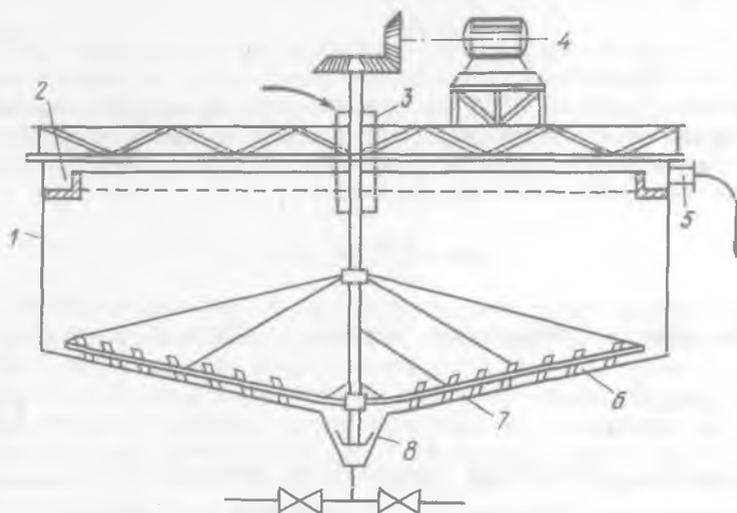
7.5- расм. Даврий ишлайдиган чўктирувчи қурилма.

қатлам ҳосил бўлади. Тозаланган маҳсулот (декантат) қурилманинг ён томонида жойлашган штуцер орқали чиқариб олинади, сўнгра эса чўкма туширилади. Шундан сўнг қурилма ювилади ва жараён қайтадан бошланади.

Агар  $\rho_k < \rho_m$  (масалан, сутларни тиндириш пайтида) бўлса, дисперс фазанинг заррачалари қурилманинг юқориги қисмида йиғилади. Қурилманинг пастки қисмида эса тозаланган қатлам ҳосил бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаларида турли жинсли системаларни ажратиш жараёни анча тез боради ва чўкmani тушириш учун кам вақт кетганлиги сабабли меҳнат сарфлари ҳам камаёди. Бундай қурилмаларга аралашмаларни бериш ва ажратилган маҳсулотларни чиқариб олиш узлуксиз равишда олиб борилади.

7.6- расмда бир ярусли узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи қурилма кўрсатилган. Бу қурилманинг тароқлари бўлиб, суспензияларни тиндириш учун ишлатилади. Ушбу чўктирувчи қурилма баландлиги унча катта бўлмаган, катта диаметрли цилиндрсимон резервуардан иборат бўлиб, конуссимон асосга эга. Ёпиқ биноларда қурилманинг диаметри 12—20 м га тенг бўлади, очик майдонларда эса унинг диаметри 120 м гача бўлиши мумкин. Дастлабки суспензия резервуарнинг ўрта қисмига берилади. Суспензия таркибидаги қаттиқ заррачалар оғирлик кучи таъсирида чўкади. Резервуарнинг ўртасида вал ўрнатилган бўлиб, унга тароқлар бириктирилган. Ушбу тароқлар чўкаётган заррачаларни (яъни қуйилтирилган суспензияни) узлуксиз равишда тушириш тешиги томон силжитиб туради. Тароқли аралаштиргич жуда



7.6- рasm. Узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи қурилма:

1 — қобик; 2 — халқасимон тарнов; 3 — юклаш воронкаси; 4 — аралаштиргичнинг электро-двигатели; 5 — тозаланган маҳсулот чиқадиган штуцер; 6 — тароклар; 7 — аралаштиргич; 8 — чўкмани туширадиган қурилма.

кичик тезлик (0,02—0,05 айл/мин) билан айланади, шу сабабли аралаштиргичнинг ҳаракати чўкиш жараёнига таъсир қилмайди. Тозаланган суюқлик қурилманинг юқори қисмидаги халқасимон тарнов орқали узлуксиз чиқиб туради. Бундай чўктирувчи қурилманинг асосий камчилиги шундан иборатки чўкманинг таркибида катта миқдорда (60 % гача) намлик бўлади.

Кўпчилик ишлаб чиқаришларда катта чўктириш юзаси (сатҳи) керак бўлганлиги сабабли биноларнинг майдонларини тежаш мақсадида кўп ярусли чўктириш қурилмаларидан фойдаланилади.

Чўктириш қурилмаларини ҳисоблаш орқали чўкиш юзаси аниқланади.

Чўктириш натижасида маълум вақт  $\tau$  давомида қуюқлаштирилган суспензия (шлам) қатлами ва баландлиги  $h$  га тенг бўлган тозаланган суюқлик қатлами ҳосил бўлди деб ҳисоблаймиз. Чўктириш юзаси  $F$  ( $\text{м}^2$ ) бўлганда олинган тоза суюқлик ҳажми  $hF$  ( $\text{м}^3$ ) га тенг бўлади. Вақт бирлиги ичида тозаланган суюқлик ҳажми эса:

$$V = \frac{hF}{\tau}, \text{м}^3/\text{с} \quad (7.11)$$

$\omega$ , тезлик билан чўқаётган қаттиқ заррачалар  $\tau$  вақт давомида  $\omega \tau$  масофани босади. Бу масофа  $h$  га тенг. Шунга кўра

$$\omega \tau = h$$

нинг қийматини (7.11) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$V = \frac{\omega_3 \tau F}{\tau} = F \omega_3. \quad (7.12)$$

Демак, тенглама (7.12) га мувофиқ, чўктириш қурилмасининг иш унуми чўктириш юзасига тўғри пропорционал бўлиб, қурилманинг баландлигига боғлиқ эмас экан. (7.12) тенгламадан керак бўлган чўктириш юзасини топамиз:

$$F = \frac{V}{\omega_3}.$$

Тозаланган суюқликнинг зичлиги  $\rho_c$  бўлса, у ҳолда  $V = \frac{G_2}{\rho_c}$ ,

$$\text{бунда } F = \frac{G_2}{\rho_c \omega_3} \quad (7.13)$$

бу ерда  $G_2$  — тозаланган суюқликнинг миқдори, кг/с;

$$G_2 = G_1 \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right);$$

$G_1$  — қурилмага берилаётган суспензия миқдори, кг/с,  $x_1$  — суспензиядаги қурук моддаларнинг оғирлик жиҳатдан олинган улуши;  $x_2$  — чўкмадаги қурук моддаларнинг оғирлик жиҳатидан олинган улуши.

$G_2$  нинг қийматини (7.13) тенгламага қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$F = \frac{G_1}{\rho_c \omega_3} \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right). \quad (7.14)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \beta \text{ десак, у ҳолда } F = \frac{G_1}{\rho_c \omega_3} (1 - \beta). \quad (7.15)$$

(7.14) тенгламани келтириб чиқаришда чўктириш қурилмасидаги суюқлик ҳаракатининг характери эътиборга олинмаган. Бундан ташқари, оқимлар қурилманинг ҳамма юзаси бўйлаб бир хил тарқалган деб олинган.

Ҳақиқий қурилмаларда суюқлик ҳаракати режимларининг ўзгариши ва бошқа факторларнинг таъсири натижасида чўкиш жараёни бир хил бормайди. Шу сабабли (7.15) тенглама билан топилган назарий юзани 30—35 % га кўпайтириш керак. Демак, ҳисобланган юза қийматини 1,3 га тенг бўлган тузатиш коэффициентига кўпайтириш керак. Шунга кўра чўктириш юзаси ёки қурилманинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади:

$$F = \frac{1,3G_1}{\rho_c \omega_3} (1 - \beta). \quad (7.16)$$

(7.16) тенгламадаги  $w$ , катталик заррачаларнинг эркин тушиш тезлиги бўлиб, агар сиқилган ҳолатда чўкиш юз бераётган бўлса  $w$ , ўрнига  $w$ , ишлатилади.

Чўктириш қурилмасининг баландлиги одатда ҳисобланмайди ва 2,5; 3,5 м га тенг қилиб олинади.

#### 7.4-§. ФИЛЬТРЛАШ

Суспензия ва чангли газларни филтёр тўсиқлар орқали ўтказиб тозалаш жараёни филтёрлаш дейилади. Филтёр тўсиқлар қаттиқ заррачаларни тутиб қолиб, суюқлик ёки газни ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Филтёр тўсиқлар ёки филтёр сифатида майда тешикли тўрлар, турли газламалар, сочилувчан материаллар (қум, майдаланган кўмир, бентонитлар), керамик буюмлар ишлатилади. Филтёр сифатида пахта, юнг ва синтетик газламалардан тайёрланган материаллардан ҳам фойдаланилади.

Филтёр тўсиқлар бир қатор талабларга мос келиши керак. Энг аввало филтёрловчи материал ғоваксимон тузилишга эга бўлиб, ғовакларнинг ўлчами шундай бўлиши керакки, бунда чўкма заррачалари тўсиқнинг устида қолиши керак. Бундан ташқари филтёр муҳит таъсирига кимёвий барқарор, юқори температурага бардошли, механик жиҳатдан пишиқ бўлиши мақсадга мувофиқ бўлади. Филтёр тўсиқнинг устида ҳосил бўлган чўкма ҳам филтёрловчи материал вазифасини бажаради.

Филтёрлаш пайтида қўшимча материаллар ҳам ишлатилиши мумкин. Активланган кўмир, майдаланган асбест, диатомит, перлит ана шулар жумласидандир. Қўшимча материаллар филтёрланиши лозим бўлган суспензияга қўшилади ёки филтёрнинг иш юзаси бундай материаллар билан қатлам ҳосил қилиб қопланади. Қўшимча материаллар чўкма билан аралашиб, унинг ғоваклигини оширади ва гидравлик қаршилигини камайтиради. Бундан ташқари диатомит, перлит, активланган кўмир ва бошқа моддалар адсорблаш хусусиятига эга, шу сабабдан филтёрдан чиқаётган тайёр маҳсулот анча тозаланган бўлади.

Филтёрлаш пайтида суспензия таркибидаги майда заррачалар филтёрловчи материалнинг устки қисмида чўкма ҳолида ёки филтёрловчи материалнинг ўзида тешиқларини тўлдирган ҳолда ўтириб қолиши мумкин. Бу хусусиятларига кўра филтёрлаш жараёни иккига бўлинади: а) чўкма қатлами ҳосил қилиш йўли билан филтёрлаш; б) филтёрловчи материалнинг тешиқларини тўлдириш орқали филтёрлаш.

Саноатнинг кўп тармоқларида чўкма ҳосил қилиш йўли билан филтёрлаш кенг қўлланилади.

Филтёрлаш жараёнида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чўкмалар ҳосил бўлади. Сиқилувчи чўкмалардаги заррачалар босим ортиши билан деформацияга учраб, уларнинг ўлчами кичиклашади. Сиқилмайдиган чўкмаларда босим ортиши билан заррачаларнинг шакли ва ўлчами деярли ўзгармайди.

Филтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинадиган филтратнинг тозаллиги асосан, филтр тўсиқларнинг хусусиятига боғлиқ. Филтр тўсиқларнинг тешиклари катта ва гидравлик қаршилиги кичик бўлиши зарур. Филтр тўсиқлар тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Филтр тўсиқлардан олдинги ва кейинги босимлар фарқи ёки филтрловчи материалга суюқлик босимини ҳосил қилувчи марказдан қочма кучлар филтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи вазифасини бажаради. Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб филтрлаш икки гуруҳга бўлинади: 1) босимлар фарқи таъсирида филтрлаш; 2) марказдан қочма кучлар таъсирида филтрлаш (центрифугалаш).

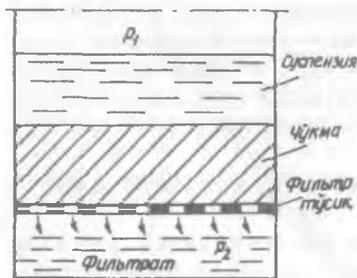
✓ Филтр тўсиқнинг иккала томонидаги босимлар фарқи қуйидаги усуллар билан ҳосил қилиниши мумкин: а) суспензия устунининг массасидан фойдаланиш ( $\Delta P$  0,05 мПа гача); б) вакуум ҳосил қилиш ( $\Delta P$  0,05—0,09 мПа гача); в) суюқликни насослар ёрдамида ҳайдаш ( $\Delta P$  0,5 мПа гача); г) сиқилган ҳаво бериш ( $\Delta P$  0,05—0,3 мПа гача). ✓

Саноатда филтрлашдан сўнг қуйидаги қўшимча жараёнлар амалга оширилади: 1) чўкмани ювиш; 2) чўкмани оддий ҳаво (ёки инерт газлар) ёрдамида дудлаш; 3) чўкмани иссиқ ҳаво ёрдамида қуритиш.

7.7-расмда филтрлаш жараёнининг схемаси берилган, бу ерда  $P_1 > P_2$ , ҳаракатлантирувчи куч босимлар фарқи билан белгиланади:  $\Delta P = P_1 - P_2$  ( $P_1$  — суспензиянинг устидаги босим,  $P_2$  — филтр тўсиқдан кейинги босим).

✓ Филтрлаш жараёни уч хил режимда олиб борилади: 1) доимий ўзгармас босимлар фарқи билан филтрлаш ( $\Delta P = \text{const}$ ); 2) доимий филтрлаш тезлиги билан филтрлаш ( $dV/d\tau = \text{const}$ ); 3) бир вақтнинг ўзида босимлар фарқи ва филтрлаш тезлиги ўзгариб турган ҳолатда филтрлаш. ✓

Ўзгармас босимлар фарқи таъсирида чўкма қатлами ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш энг кўп қўлланилади. Филтрлаш жараёнининг моделини кўриб чиқамиз (7.7-расм). Бу модел бўйича филтр тўсиқ ва чўкманинг ҳамма каналлари (ёки ғоваклари) тенг қийматли бўлиб, филтрат ушбу каналлар бўйлаб ламинар режим билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда филтратнинг каналлар бўйлаб ўтишига бўлган гидравлик қаршилиқни Гаген-Пуазейл тенгламаси ёрдамида аниқлаш мумкин:



$$\Delta P = \frac{32L\mu w}{d^2} \quad (7.17)$$

7.7-расм. Филтрлаш жараёнининг схемаси.

бу ерда  $\Delta P$  — босимлар фарқи;  $L$  — чўкма ва фильтр тўсик каналларининг узунлиги;  $d$  — ушбу каналларнинг диаметри;  $w$  — фильтратнинг каналлардаги ҳаракат тезлиги;  $\mu$  — фильтратнинг қовушоқлиги.

Фильтр тўсиқнинг юзасини  $F$  билан, тўсикдаги ҳамма кўндаланг кесимининг умумий юзасини  $S$  билан белгиласак, у ҳолда:  $S = aF$  ёки  $F = S/a$ , бу ерда  $a < 1$  — умумий юзага нисбатан улушни билдиради.

Гаген-Пуазейл тенгламасининг чап ва ўнг томонларини  $F$  ва  $d\tau$  ларга кўпайтириб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\Delta P F d\tau = \frac{32L\mu w}{d^2} \cdot \frac{S}{a} d\tau$$

ёки

$$\Delta P d\tau = \frac{32L\mu}{d^2 a} \cdot \frac{w S d\tau}{F}$$

бу ерда  $\frac{32L\mu}{d^2 a} = R$  — берилган суспензия учун ўзгармас қийматга эга бўлиб, фильтрлаш жараёнининг қаршилигини белгилайди;  $\frac{w S d\tau}{F} = dV_\phi$  — фильтр тўсиқнинг  $1 \text{ м}^2$  юзасидан қисқа вақт  $d\tau$  давомида йиғилган фильтратнинг ҳажмини билдиради.

Бундай ҳолатда фильтрлаш тенгламаси қуйидаги кўринишига эга бўлади:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{R} \quad (7.18)$$

бу ерда  $\frac{dV_\phi}{F d\tau} = W$  — фильтрлаш тезлиги.

Тажрибалардан маълумки, ҳар бир вақт моментидagi фильтрлаш тезлиги босимлар фарқига тўғри пропорционал, суюқлик муҳит қовушоқлигига, чўкма ва фильтр тўсиқнинг умумий гидравлик қаршилигига тесқари пропорционалдир. Шу сабабдан (7.18) тенгламани тўлдириб, бошқа кўринишда ёзамиз:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(P_r + P_{\phi.m})} \quad (7.19)$$

бу ерда  $\Delta P$  — босимлар фарқи, Па;  $P_r$  — чўкма қатламининг қаршилиги,  $\text{м}^{-1}$ ;  $R_{\phi.m}$  — фильтрлаш тўсиқнинг қаршилиги,  $\text{м}^{-1}$ ;  $\mu$  — суспензиянинг қовушоқлиги, Па·с.

Фильтрлаш тезлигини аниқлаш учун (7.19) тенгликни интеграллаб, чўкманинг гидравлик қаршилиги билан олинаётган фильтрат ҳажми орасидаги боғлиқликни билиш лозим. Тенгламани интеграллашда фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ўзгармас деб олинади, чунки қаттиқ заррачалар фильтрнинг тешиқларини тўлдирмайди. Шунинг учун фильтр тўсиқларнинг қаршилиги эътиборга олинмайди. Бунда чўкма қатламининг баландлиги ортиб боради. Чўкма гидравлик қаршилигининг қиймати эса нолдан

максимумгача ўзгаради. Шунинг учун тезлик чўкманинг гидравлик қаршилиги ва фильтрат ҳажмига боғлиқ бўлади.

Чўкманинг ҳажмини ( $V_r$ ) фильтрат ҳажмига ( $V_\phi$ ) нисбатини  $x_0$  билан белгилаймиз.

$$\frac{V_r}{V_\phi} = x_0, \text{ бу ерда } V_r = x_0 V_\phi.$$

Чўкманинг ҳажми чўкма қатлами баландлигининг ( $h_r$ ) фильтрат юзасига ( $F$ ) кўпайтмасига тенг  $h_r F$ . Натижада

$$x_0 V_\phi = h_r F.$$

Бу тенгламадан чўкма қатламининг баландлигини топиш мумкин:

$$h_r = x_0 \frac{V_\phi}{F} \quad (7.20)$$

Чўкма қатламининг қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$R_r = r_0 h_r = r_0 x_0 \frac{V_\phi}{F} \quad (7.21)$$

$r_0$  — чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилиги (1 м қалинликда бўлган чўкма қатламининг фильтрат оқимиغا кўрсатган қаршилиги),  $\text{м}^{-2}$ .

(7.21) тенгликдаги  $R_r$  нинг қийматини (7.19) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

$$\frac{dV_\phi}{Fd\tau} = W = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 x_0 \frac{V_\phi}{F} + R_{\phi,m})} \quad (7.22)$$

Бу тенглик фильтрлаш жараёнининг асосий тенгламаси дейилади.

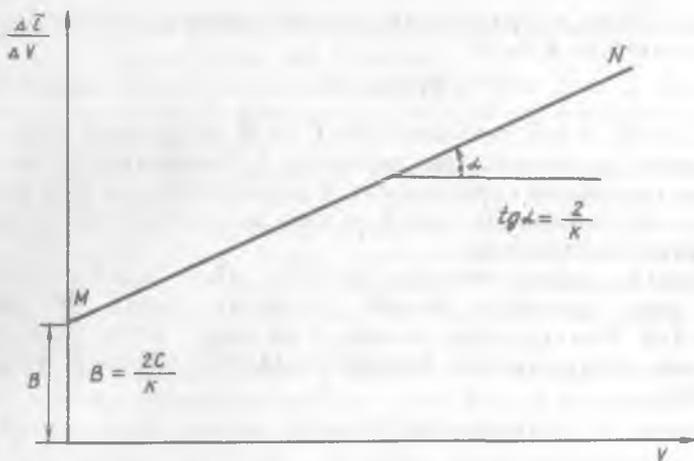
Агар фильтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилиги ҳисобга олинмаса,  $R_{\phi,m} = 0$  ва (7.22) тенгламага (7.20) тенгликдаги  $x_0$  нинг қийматини қўйсақ, у ҳолда қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$r_0 = \frac{\Delta P}{\mu h_r W} \quad (7.23)$$

Агар  $\mu = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ ,  $h_r = 1 \text{ м}$ ,  $W = 1 \text{ м} / \text{с}$  бўлса, ковшоқлиги  $1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$  бўлган суспензия в 1 м қалинликдаги чўкма қатламида фильтрланганда чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилигининг миқдори босимлар фарқи тенг бўлади.

Агар (7.22) тенгламани босимлар фарқи бир хил режимда ишлайдиган  $\Delta P = \text{const}$  фильтрлар учун интегралласак, қуйидаги ифодага эришилади:

$$\int_0^V V dV = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 x_0} \int_0^t d\tau, \quad (7.24)$$



7.8- расм. Филтрлаш доимийликларини аниқлашга доир.

$$\frac{V^2}{2} = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 x_0} \tau, \quad (7.25)$$

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta P \tau}{\mu r_0 x_0}} \quad (7.26)$$

(7.26) тенглама орқали вақт давомида олинган филтратнинг ҳажмини ёки унинг унумдорлигини аниқлаш мумкин. Худди шунингдек, филтрлаш вақтини ҳар қандай режим учун топиш мумкин. Бу тенгламадан кўриниб турибдики, босимлар фарқи бир хил бўлганда филтрлаш вақти қанча кўп бўлса, шунча кўп филтрат олинади.

(7.26) тенгламадаги босимлар фарқи  $\Delta P$  суспензиянинг қовушоқлиги  $\mu$ , чўкманинг солиштирма қаршилиги  $r_0$ , чўкма ва филтрат ҳажмининг нисбатлари  $x_0$  фақат тажриба орқали аниқланади. Шу сабабли буларнинг ўзaro боғланиши *филтрлаш доимийлиги*  $K$  орқали ифодаланади:

$$K = \frac{2\Delta P}{\mu r_0 x_0} \quad (7.27)$$

Филтрлаш доимийлигини ҳисоблашда босимлар фарқи, чўкманинг таркиби ва суспензияларнинг қовушоқлигини ҳисобга олинади. Худди шунингдек, филтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилигини доимий катталиқ  $C$  билан белгилаш мумкин:

$$C = \frac{P_{\phi m}}{r_0 x_0} \quad (7.28)$$

Фильтр тўсиқ ва фильтрлаш доимийларининг қийматларини (7.22) тенгламага қўйсақ:

$$V^2 + 2VC = K\tau \quad (7.29)$$

га эга бўламиз. Ушбу тенгламадаги  $C$  ва  $K$  фильтрлаш жараёнининг доимий катталиклари дейилади. Доимийлик  $C$  фильтр тўсиқнинг гидравлик қаршилигини,  $K$  доимийлиги эса фильтрлаш жараёнининг режимини ҳамда чўкма ва суюқликнинг физик хоссаларини ифодалайди.

Фильтрлаш доимийликлари тажриба йўли билан топилади. Бунинг учун суспензия доимий босимлар фарқи  $\Delta P$  билан ажратилади. Фильтратнинг ҳажми  $V$  ва вақт  $t$  ўлчаб борилади. Фильтрлаш тенгламасини дифференциялаб қуйидаги ифодага эришамиз:

$$2VdV + 2CdV = Kd\tau \quad (7.30)$$

Ушбу тенгламани  $dV$  ва  $K$  га бўлиб, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{d\tau}{dV} = \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.31)$$

ёки 
$$\frac{\Delta\tau}{\Delta V} \approx \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.32)$$

(7.32) тенглама  $\Delta\tau/\Delta V$  ва  $V$  ўртасида тўғри боғлиқлик борлигини белгилайди. 7.8- расмда тажриба натижалари асосида чизилган  $MN$  тўғри чизиги кўрсатилган. Ушбу тўғри чизикнинг қиялик бурчаги қуйидаги қийматга эга:  $\operatorname{tg}\alpha = 2/K$ . Ордината ўқидаги  $B$  кесмаси эса  $2C/K$  га тенг бўлади.

### 7.5- §. ФИЛЬТРНИНГ АСОСИЙ ТУРЛАРИ

Қимё ва озиқ-овқат саноатида ишлатиладиган фильтрлар тозаланиши керак бўлган муҳитнинг хили, ишлаш принциплари, фильтр тўсиқларнинг турига ва иш босимларнинг миқдорига қараб бир неча турга бўлинади.

Технология мақсадларига кўра фильтрлаш қурилмалари икки турга бўлинади: 1) суюқликларни ва 2) газларни тозалаш фильтрлари.

Босим остида ишлайдиган фильтрлар бир неча турга, яъни гидростатик босим, насос ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинадиган босим, сийракланиш (вакуум) ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимлар таъсирида ишлайдиган қурилмаларга бўлинади.

Фильтрлаш қурилмалари фильтрловчи тўсиқларнинг хилига қараб донасимон материаллар, ҳар хил газламалар ва қаттиқ материаллар (масалан, керамик жисмлар, турлар) билан ишлайдиган фильтрларга бўлинади.

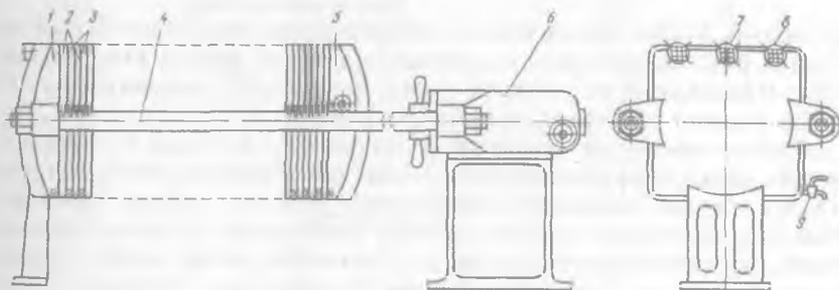
Барча турдаги фильтрловчи қурилмалар фильтрлаш юзасининг ҳаракатига қараб икки хил бўлади:

1. Ҳаракатсиз фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (донасимон тўсиқли фильтрлар, рамали ва камерали фильтр-пресслар ва бошқалар).

2. Ҳаракатли фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (барабанли вакуум фильтрлар, дискли ва лентали фильтрлар).

Бундан ташқари фильтрлар ишлаш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади. Ҳаракатсиз фильтрлар юзасига эга бўлган фильтрлар даврий ишлайди. Ҳаракатли фильтрлар юзасига эга бўлган фильтрлар эса узлуксиз ишлайди. Қуйида фильтрларнинг айримлари билан танишамиз.

**Фильтр-пресслар.** Даврий ишлайдиган рамали фильтр-пресслар саноатда кенг қўлланилади, чунки бундай қурилмалар оддий тузилишга эга ва уларни юқори босимда ишлатиш мумкин (одатда 0,3—0,5 мПа). Плитали — рамали фильтр-пресснинг типавий тузилиши 7,9- расмда кўрсатилган. Бирин-кетин жойлаштирилган рама 2 ва плита 3 ўртасига фильтрловчи газлама (салфетка) жойлаштирилади. Плита ва рамалар одатда чўяндан тайёрланган

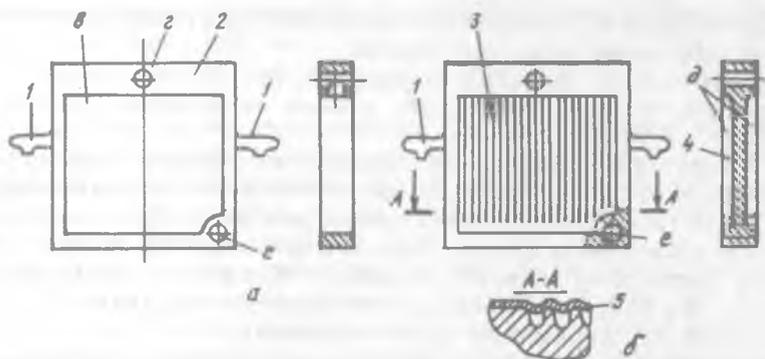


7.9- расм. Рамали фильтр-пресс:

1 — таянч плитаси; 2 — рамалар; 3 — плиталар; 4 — таянч стержени; 5 — сиқувчи плита; 6 — гидравлик ёки электромеханик сиқувчи қурилма; 7, 8 — суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони беришга мўлжалланган штуцерлар; 9 — плиталардан филтратни алоҳида чиқариш учун мўлжалланган кранлар.

бўлиб, таянч 1 ва сиқиб турувчи плиталар, иккита таянч стерженлари 4 ва гидравлик (ёки электромеханик) қурилма 6 ёрдамида маҳкам қилиб жойлаштирилади. Суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони бериш учун таянч плита 1 да штуцерлар 7 ва 8 жойлаштирилган.

Фильтр-пресснинг рамаси ва плитаси 7.10- расмда кўрсатилган. Раманинг ўртасида бўшлиқ в бор, унинг чеккалари 2 эса силлик юзага эга. Плитада иккита чуқурлик д бўлиб, уларнинг ўртасида девор 4 мавжуд; қирралар 3 эса фильтрловчи газлама учун таянч вазифасини бажаради. Плита ва рамалар ушлагичлар 1 ёрдамида таянч стерженларига суянади. Плита ва рамаларнинг чеккаларида тешиклар г ва е мавжуд бўлиб, плиталар сиқилган пайтда каналлар ҳосил бўлади. Бу каналлар орқали суспензия, сиқилган ҳаво ва ювувчи суюқлик юборилади, филтрат эса чиқарилади.



7.10- расм. Фильтр-пресснинг рамаси (а) ва плитаси (б):

*a* — раманинг бушлик жойи; *e, e* — плиталарни сиқиш пайтида ҳосил буладиган каналлар; *d* — плитанинг чуқурлаштирилган бушлик жойлари; *1* — плата ва рамаларнинг ушлагичи; *2* — раманинг текис қилиб ишланган қисми; *3* — плата юзасидаги қирралар; *4* — плата чуқурликлари уртасидаги девор; *5* — фильтрловчи газлама.

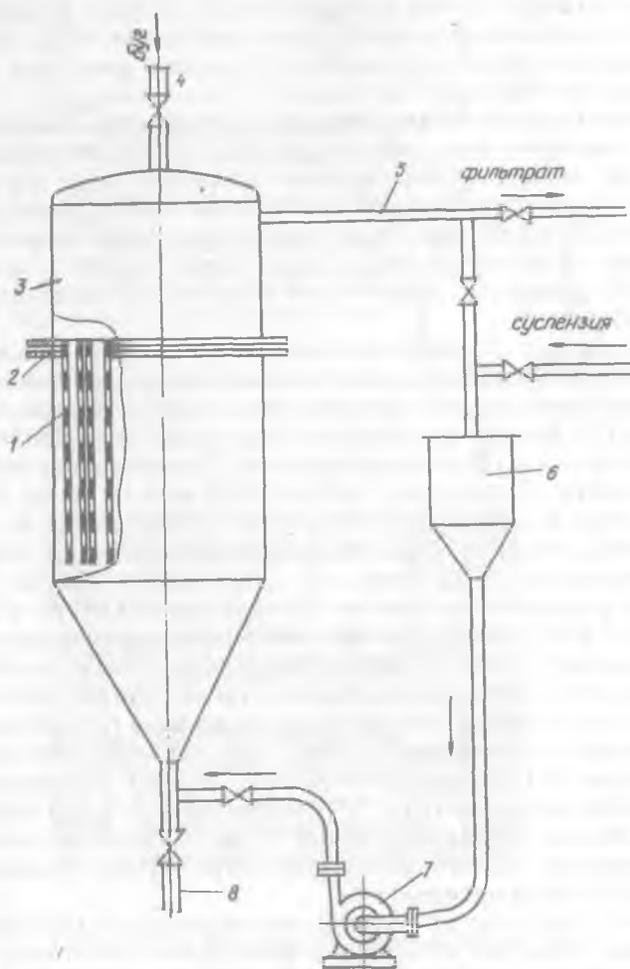
Суспензия ўтиши учун мўлжалланган тешик *a* раманинг бушлиғи *b* билан радиал йўналишдаги канал ёрдамида, фильтратни йиғиш учун мўлжалланган тешик *e* эса платадаги чуқурликлар *d* билан радиал каналлар орқали боғданган.

Фильтр-пресснинг ишлаши қуйидагича. Дастлаб суспензия каналча орқали раманинг ичига кириб, фильтрловчи материалдан ўтади, сўнгра юзасидаги ариқчалар орқали пастга тушади. Фильтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Раманинг икки қисми чўкма билан тўлганда, суспензия бериш тўхтатилади. Шундан сўнг ювиш учун сув берилади. Ювиш жараёни тамом бўлгач қўзғалувчан плата чапга бурилиб, чўкма туширилади. Шундай қилиб, фильтр-пресснинг иш цикли қуйидаги жараёнлардан иборат бўлади: 1) ишга тайёргарлик кўриш; 2) фильтрлаш; 3) чўкмани ювиш; 4) филтрдан чўкмани ажратиш олиш.

Рамали фильтр-пресслар катор афзалликларга эга: қурилма массасининг бирлигига нисбатан фильтрлашнинг солиштирма юзаси анча катта; ҳаракатланувчи қисмлари йўқ; айрим плиталарни ишлатмасдан қўйиш мумкин. Ҳаракатлантурувчи кучнинг қиймати катта бўлганлиги сабабли фильтр фильтрловчи юза бирлигига нисбатан юқори иш унумдорликка эга.

Бундай қурилмалар айрим камчиликлардан холи эмас. Филтрдан чўкмани тушириш анча меҳнат талаб қилади. Агар суспензиядаги суюқлик фазаси енгил учувчан, заҳарли ёки ўт олувчан хусусиятларга эга бўлса фильтр-прессдан фойдаланиш мумкин эмас. Асосан концентрацияси кам бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

**Патронли филтрлар.** Бу филтрларда цилиндрсимон корпусдаги махсус металл тўсиққа металл ёки керамик трубалардан



7.11- расм. Патронли филътр:

1 — патрон; 2 — труба тўсиқлари; 3 — кобик; 4 — буф кирувчи штуцер;  
 5 — филътрат чиқарадиган труба; 6 — суспензия йиғинч; 7 — насос; 8 —  
 чуқма чиқадиған труба.

тайёрланган, юкори томони очик говаксимон патронлар жойлаштирилади (7.11- расм). Патронларга филътрловчи газлама (яъни «пайпоқлар») кийдирилади. Филътра суспензия босим остида (0,2—0,4 мПа) берилади, филътрат патронлардан ўтиб, курилманинг юкори қисмига йиғилади ва штуцер орқали курилмадан чиқарилади.

Майда заррачали суспензияларни ажратиш учун металлокерамик филътрлар ишлатилиб, патронларининг диаметри тахминан 60 мм, узунлиги 700 мм ва деворнинг қалинлиги 3 мм гача бўлади. Патронлар деворининг говаклиги 40 % гача бўлиб, говақларнинг

ўлчами тахминан 6 мкм га тенг бўлади. Бундай филтёрларнинг қаттиқ заррачаларни ушлаб қолиш қобилияти 99 % гача етади.

Патронли филтёрлар одатда сиқилган ҳаво ёки сув буги ёрдамида регенерация қилинади.

**Автоматлаштирилган камерали филтёр-пресс.** Камерали автоматлаштирилган филтёр-пресслар (ФПАК) босим остида даврий ишлайди, асосан суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Бундай қурилмалар оддий филтёр-прессларга ўхшайди, бироқ уларда филтёрлаш учун яхши шароит яратилган, оғирлик кучи ва филтёрлат ҳаракатининг йўналиши бир-бирига мос тушади, шу сабабдан суспензия таркибидаги заррачалар гравитацион майдонда чўкади.

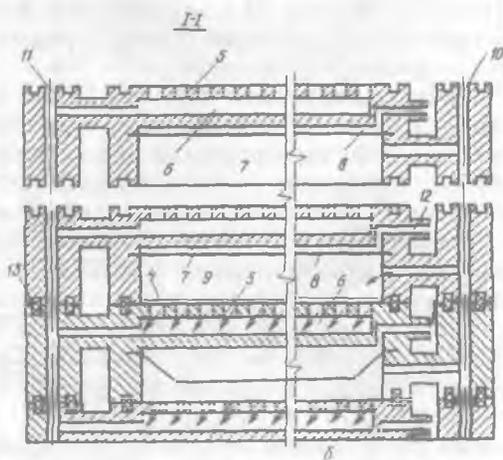
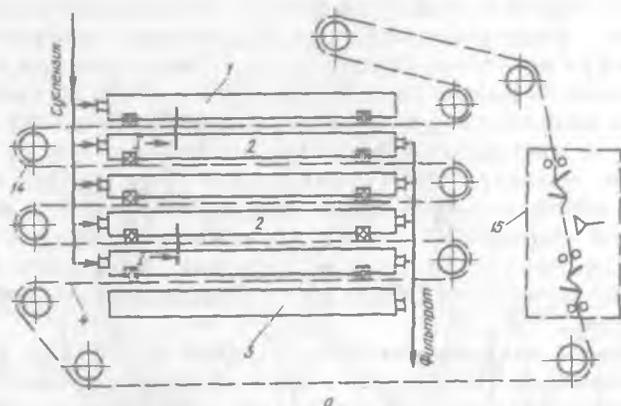
7.12-расмда автоматлаштирилган камерали филтёр-пресс кўрсатилган. Бундай қурилма горизонтал ҳолда жойлашган, тўғри бурчакли плиталардан таркиб топган бўлади. Юқорисида таянч плитаси (1), ўртада филтёрловчи плиталар (2) ва пастки қисмда сиқилувчи плита (3) жойлаштирилган. Плиталарнинг оралиғидан филтёрловчи газламадан тайёрланган чексиз лента (4) ўтган. Ҳар қайси филтёрловчи плитанинг юқори қисмида панжара (5) бўлиб, унинг тагида филтёрлатни қабул қилувчи таглик (6) ўрнатилган (7.12-расм, б). Тагликнинг пастки қисмида эластик резинали диафрагма (8) ёрдамида камера (7) ҳосил қилинган. Ушбу диафрагма ёрдамида ва сувнинг босими таъсирида лентанинг устида турган чўкманинг сиқилиши юз беради.

Филтёрни йиғишда бир-бирига тегиб турган плиталарнинг юқориги ва пастки қисмлари иш камералари (9) ҳосил қилади, плиталардаги тешиқлар эса бир неча каналлар пайдо қилади: 10- камералар (9)га суспензия бериш учун; 11-тагликлар (6) дан филтёрлатни чиқариш учун; 12- камералар (7) га сув бериш учун. Иш давомида плиталар оралиғида тегишли зичликни ҳосил қилиш учун плиталар асосларининг периметри бўйлаб резинали прокладкалар жойлаштирилган.

Электродвигател ва тегишли механизмлар ёрдамида сиқувчи плитанинг силжиши натижасида филтёрловчи плиталар юқорига қараб ҳаракатланиши (филтёрнинг ёпилиши) ёки пастга қараб ҳаракатланиши (филтёрнинг очилиши) мумкин. Бу ҳаракатлар тўртта йўналтирувчи ёрдамида амалга оширилади.

Суспензия берилгандан кейин ва филтёр очилгандан сўнг, чексиз лента ҳаракатга келади. Камералар (9) нинг ичида лентанинг устида чўкма қатлами ҳосил бўлади. Лентанинг устидаги чўкма пичок (14) ёрдамида ажратиб олинади ва бункерга юборилади. Ҳаракат давомида лента регенерация камераси 15 дан ўтади, у ерда лента чўкмадан тозаланади ва ювилади. Иккита плита оралиғидан ўтишида лентанинг юзаси қарама-қарши томонга ўзгариб қолади, бу ҳолат лентани тозалашни осонлаштиради ва самарали ишлашига ёрдам беради.

Филтёрнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат: 1) филтёрни йиғиш (ёпиш); 2) суспензия билан юклаш; 3) филтёрлаш; 4) чўкмени сиқиш; 5) филтёрни очиш; 6) чўкмени тушириш.



7.12- расм. Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс:

*a* — Филтринг схемаси; *б* — камералардаги оқим харакати; 1 — юқориги таянч плитаси; 2 — филтрловчи плита; 3 — пастки сиқилувчи плита; 4 — чексиз лента; 5 — панжара; 6 — филтратни қабул қилувчи таглик; 7 — камера; 8 — эластик диафрагма; 9 — иш камералари; 10 — суспензия бериш учун канал; 11 — филтратни узатиш учун канал; 12 — сув юбориш учун канал; 13 — резинали қистирмалар; 14 — пичоқ; 15 — регенерация камераси.

Суспензия канал (10) бўйлаб камералар (9) га босим (1,2 мПА) билан юборилади (7.12-расм, б), лента (4) ва панжара (5) орқали филтрланади. Таглик (6) га тушган филтрат ҳар бир плитадан канал (11) га юборилади. Филтрлаш тамом бўлгандан сўнг ҳосил бўлган чўкма диафрагма (8) ёрдамида сиқилади, бунинг учун камера (7) га коллектор (12) орқали босим билан сув юборилади. ФПАК таркибда  $10 \div 500$  кг/м<sup>3</sup> миқдорида қаттиқ заррачалар тутган ва сиқилувчан чўкмалар ҳосил қилувчи майда дисперсли суспензияларни филтрлаш учун ишлатилади.

Бундай даврий ишлайдиган филътр курилмаларни (патронли филътрлар, филътр-пресслар ва бошқалар) ишлатиш оғир жисмоний кўл меҳнатини талаб қилади. Бундан ташқари, ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 30 % га яқин вақти кетади. Бу филътрларда кўп миқдорда газламалар сарф бўлади.

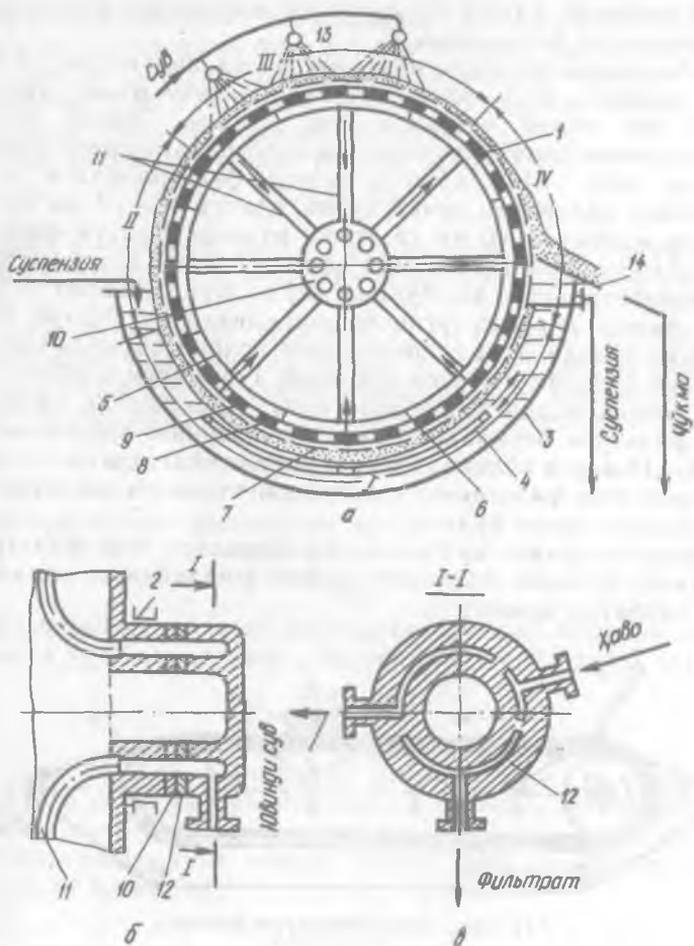
Узлуксиз ишлайдиган филътрлаш курилмалари бу камчиликлардан холидир. Бу курилмаларда филътрлаш, чўкмени куритиш, ювиш, ажратиб олиш каби жараёнлар бир вақтнинг ўзида олиб борилади. Бундай курилмаларга вакуум остида ишлайдиган барабанли, диски, лентали филътрлар киради. Саноатнинг кўп тармоқларида барабанли вакуум филътрлар ишлатилади.

**Барабанли вакуум-филътрлар.** Бундай филътрлар узлуксиз режимда ишлайди. Иш органи — секин айланувчи ва икки деворли цилиндрсимон горизонтал барабандир. Барабанли вакуум-филътрлар бир неча турга бўлинади. Масалан, ташқи филътрловчи юзали, ички филътрловчи юзали, тақсимловчи курилмаси бўлмаган, қўйилтирувчи — филътрлар ва ҳоказо.

7.13-расмда ташқи филътрловчи юзаси бўлган барабанли вакуум-филътрнинг схемаси кўрсатилган. Ушбу филътрнинг барабани (1) ичи бўш цапфалар ёрдамида подшипниклар (2) га ўрнатилган. Барабан юзасининг тахминан 35 % суспензияли тоғора (3) га туширилган бўлади. Тоғорада силкиниб турувчи аралаштиргич (4) суспензия таркибини бир хил бўлишлигини таъминлаб, ундаги қаттиқ заррачаларнинг чўкмага тушишига йўл қўймайди. Барабан иккита цилиндрдан тузилган. Ички цилиндр (5) яхлит бўлиб, ташқи цилиндр (6) эса галвирсимон юзага эга, унинг устига металлдан қилинган сим тўр ўрнатилган. Сим тўрнинг устига филътрловчи газлама (7) қопланган.

Цилиндрлар оралиғидаги ҳалқасимон бўшлиқ узунасига ўрнатилган тўсиқлар (8) ёрдамида секторлар (9) га ажратилган. Ҳар бир секциядан цапфадаги шайба (10) томон трубалар (11) ўтказилган. Тақсимлагичнинг кўзғолувчан қисмига кўзғолмас қисм (12) уланган бўлиб, унинг юзасида бир неча ёйсимон тешиклар бор. Бу тешиклар тақсимлагичнинг айланувчи қисмидаги трубаларнинг тешикларига тўғри келади. Тақсимлагичнинг кўзғолувчан ва кўзғолмас қисмлари бир-бирига жуда зич ёпишади.

Тақсимлагич кўзғолмас қисмининг ташқи юзасида филътрат ва ювинди сувларни узатиш учун, вакуум-линияга уланиш учун ва пуфлаш зонасига сиқилган ҳавони бериш учун бир неча штуцерлар бор. Барабanning айланишида кўзғолмас қисмдаги ҳар бир тешик тақсимлагичнинг кўзғолувчан қисмидаги ёйсимон тешиклар билан кетма-кет уланади. Шу сабабдан ҳар бир секторда барабanning бир марта айланишида филътрлаш жараёнининг ҳамма босқичлари амалга оширилади: I соҳада вакуумнинг таъсирида филътрловчи газлама орқали филътрлаш жараёни боради, бунда суспензия таркибидаги чўкма филътрловчи газлама устида йигилиб қолади; II соҳада секторга сўрилган ҳаво ёрдамида чўкма



7.13- расм. Барабанли вакуум-фильтр:

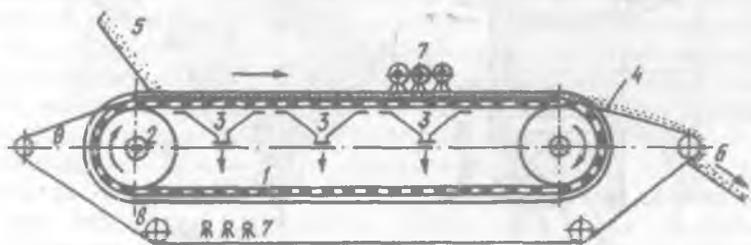
*a* — фильтринг схемаси; *б* — бош таксимлагич; *в* — таксимлагичнинг кесими; I — филтрлаш соҳаси; II — чўкмани қуритиш соҳаси; III — чўкмани ювиш соҳаси; IV — чўкмани пуфлаш ва юмшатиш соҳаси; 1 — барабан; 2 — ичи бўш цапфалар; 3 — тогора; 4 — тебранувчи аралаштиргич; 5 — ички цилиндр; 6 — ташқи цилиндр; 7 — фильтровчи газлама; 8 — тўсиқлар; 9 — секторлар; 10 — шайба; 11 — трубалар; 12 — таксимлагичнинг қўзғалмас қисми; 13 — форсункалар; 14 — пичок.

қуритилади, бу босқичда чўкма таркибидаги намлик ҳавога ўтиб, филтрдан ташқарига чиқарилади; III соҳада чўкма қатламининг ювилиши юз беради, бунинг учун чўкма форсункалар (13) орқали берилаётган сув билан ювилади; IV соҳада секторнинг ички қисмига кираётган сиқилган ҳаво ёрдамида чўкма пуфланади ва юмшатилади. Сўнгра чўкма пичок (14) билан барабандан

ажратиб олинади. Ҳамма соҳалардаги жараёнлар узлуксиз равишда кетма-кет бораверади.

Барабанли вакуум-фильтрларнинг фильтрлаш юзаси  $5 \div 40 \text{ м}^2$  бўлиши мумкин. Фильтрлаш зонасидаги вакуумнинг қиймати 400—450 мм симоб устунига тенг бўлади. Демак, бундай қурилмаларнинг ҳаракатлантирувчи кучи фильтр-прессга нисбатан анча паст. Шу сабабли вакуум-фильтрлардаги чўкма қатламининг қалинлиги кичик бўлиб, одатда 10—12 мм га тенг бўлади ва максимум 40 мм га етиши мумкин. Вакуум-фильтрга берилаётган суспензия эримайдиган қуруқ моддаларга нисбатан юқори концентрацияга эга бўлиши керак. Бундай ҳолатда барабаннинг ташқи юзасида тегишли қалинликка эга бўлган чўкма тезда ҳосил бўлади. Агар суспензиянинг концентрацияси кам бўлса, дастлаб бундай суспензия чўктириш қурилмасига юборилади. Сўнгра қаттиқ моддага нисбатан анча қуйқлашган суспензия вакуум-фильтрга берилади. Вакуум-фильтрнинг барабани бир соатда 6—12 марта айланади. Барабаннинг айланиш частотасини ўзгартириш учун фильтрнинг электродвигатели тезлик вариатори билан таъминланган бўлади.

Бу фильтрларнинг куйидаги камчиликлари бор: фильтрлаш юзаси катта бўлгани учун катта жойни эгаллайди, қурилманинг баҳоси нисбатан қиммат.



7.14- расм. Лентали вакуум-фильтр:

1 — галвирсимон резинали лента; 2 — барабанлар; 3 — вакуум-камералар; 4 — фильтрловчи газлама; 5 — суспензиянинг берилиши; 6 — чўкмаи ажратиб олиш; 7 — чўкмаи ювиш учун суюклик бериш; 8 — роликлар.

**Лентали вакуум-фильтрлар.** 7.14- расмда узлуксиз режимда ишлайдиган лентали вакуум-фильтрнинг чизмаси кўрсатилган. Фильтрловчи юза вазифасини барабанлар (2) ва роликлар (8) га кийдирилган ва газламадан тайёрланган чексиз лента (1) бажаради. Фильтрловчи газлама галвирсимон резинали лента устида силжиб ҳаракат қилади. Резинали лента ҳам барабанлар (2) га кийдирилган бўлади. Вакуум-камералар (3) филтрат ва ювинди сувларни йиғиш учун хизмат қилади. Чўкма лентанинг эгилган жойи (6) дан ажратиб олинади. Лентали вакуум-фильтрлар оддий тузилишга эга; асосий камчилиги — фильтрловчи юзадан қисман фойдаланилади.

**Фильтрларни ҳисоблаш.** Фильтр қурилмаларни ҳисоблашдан асосий мақсад керак бўлган фильтрлаш юзасини топишдан иборат.

Даврий ишлайдиган филтърларни ҳисоблаш учун ҳар бир циклнинг иш даврини билиш зарур бўлади. Филтърлашнинг ҳар бир цикли қуйидаги босқичлардан иборат бўлади: 1) филтърлашнинг ўзи; 2) чўкмани ювиш; 3) қўшимча ишлар (чўкмани тушириш, газламани алмаштириш ва ҳоказо).

Филтърлаш циклининг умумий вақти  $T$  (с):

$$T = \tau + \tau_{ю} + \tau_{к} \quad (7.33)$$

бу ерда  $\tau$  — филтърлаш учун кетган вақт, с;  $\tau_{ю}$  — чўкмани ювиш учун кетган вақт, с;  $\tau_{к}$  — қўшимча ишларни бажариш учун кетган вақт, с.

Агар филтърлаш юзасини  $F$  ( $m^2$ ) билан ва филтърнинг солиштирма иш унумдорлигини  $v$  ( $m^3/m^2$ ) билан белгиласак, у ҳолда битта циклда олинган филтратнинг миқдори  $v \cdot F$  ( $m^3$ ) га тенг бўлади, филтърнинг иш унумдорлиги эса  $V$  ( $m^3/соат$ ):

$$V = \frac{3600 v F}{T} \quad (7.34)$$

Зарур бўлган филтърлаш юзаси:

$$F = \frac{VT}{3600v} \quad (7.35)$$

Узлуксиз ишлайдиган филтърлар (масалан, барабанли вакуум-филтър) учун филтърлаш циклининг умумий вақт  $T$  (с):

$$T = \frac{(\tau + \tau_{ю}) m}{m_{\phi} + m_{ю}} \quad (7.36)$$

бу ерда  $m$  — секцияларнинг умумий сони;  $m_{\phi}$  — филтърлаш соҳасидаги секцияларнинг сони;  $m_{ю}$  — ювиш соҳасидаги секцияларнинг сони.

Филтърлаш учун зарур бўлган вақт қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$\tau = \frac{\mu r_0 h_r^2}{2\Delta P x_0} \quad (7.37)$$

бу ерда  $\mu$  — филтратнинг қовушоқлиги, Па·с;  $r_0$  — чўкманинг солиштирма ҳажмий қаршилиги,  $m^{-2}$ ;  $h_r$  — чўкманинг қалинлиги, м;  $\Delta P$  — босимлар фарқи, Па;  $x$  — чўкманинг ҳажмини филтрат ҳажмига нисбати.

Чўкмани ювиш учун кетган вақт  $t_{ю}$  тажриба асосида аниқланади. Секцияларнинг сон қийматлари  $m$ ,  $m_{\phi}$ ,  $m_{ю}$  одатда берилган бўлади ёки тажриба натижалари асосида қабул қилинади.

Барабаннинг бир маротаба айланишида унинг юзасидан олинган филтратнинг ҳажми  $V$  ( $m^3$ ) қуйидаги нисбат асосида топилади:

$$V = \frac{h_r S}{x_0} \quad (7.38)$$

бу ерда  $S$  — барабаннинг юзаси,  $m^2$ .

Филтрлаш вақти  $\tau$  га асосан барабаннинг суспензияга ботирилиш даражаси аниқланади:

$$\Phi = \frac{\tau}{T} \quad (7.39)$$

Барабанли вакуум-филтрнинг филтрат бўйича иш унумдорлиги ( $\text{м}^3/\text{соат}$ ) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$Q = \frac{3600 \cdot V}{T} \quad (7.40)$$

#### 7.6-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА КУЧ ТАЪСИРИДА ЧЎКТИРИШ

Оғирлик кучи таъсирида чўктириш бир қатор камчиликларга эга: заррачаларнинг чўкиш тезлиги анча кичик ( $< 0,5$  м/соат); чўктириш қурилмаларининг ўлчамлари анча катта; майда заррачаларни гравитацион майдонда ажратиб олиш қийинлиги сабабли, бу усулдан одатда турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун фойдаланилади. Аралашма заррачаларининг ўлчами  $d_s < 5$  мкм ёки уларнинг зичлиги муҳит зичлигига яқин бўлса, бундай шароитда гравитацион усулдан фойдаланиш жуда кам самара беради. Бундай заррачаларни суспензия ва эмульсия таркибидан самарали ажратиб олиш учун марказдан қочма куч майдонидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади, чунки марказдан қочма кучнинг қиймати оғирлик кучига нисбатан бир неча марта катта бўлади.

Марказдан қочма куч майдони ажралиши лозим бўлган оқимнинг айланма ҳаракати натижасида ҳосил бўлади. Марказдан қочма куч майдони гидроциклон, чўктирувчи центрифуга ва сепараторларда ҳосил қилинади.

Аралашманинг айланма ҳаракати таъсирида унинг таркибидаги заррачага марказдан қочма куч таъсир қилади. Бу куч заррачани марказдан қурилманинг чеккаси томон чўкиш тезлигига тенг бўлган тезлик билан улоқтириб ташлайди.

Бунда ҳосил бўлган марказдан қочма кучнинг қиймати  $C$  ( $N$  ҳисобида) қуйидагича аниқланади:

$$C = mn^2/R = m\omega^2R \quad (7.41)$$

бу ерда  $m$  — заррачанинг массаси, кг;  $\omega$  — заррача айланишининг бурчак тезлиги,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n$  — заррача ҳаракатининг айланма тезлиги, айл/с;  $R$  — заррача айланишининг радиуси, м.

Марказдан қочма қурилмалардаги чўкиш самарадорлигини аниқлаш учун марказдан қочма куч қийматини заррачага таъсир қилаётган оғирлик кучи билан солиштирилади.

Оғирлик кучи  $P$  ( $N$  ҳисобида);

$$P = mg \quad (7.42)$$

$g$  — эркин тушиш тезланиши,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Иккала тенгламаларни ечиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\frac{C}{P} = \frac{m\omega^2 R}{mg} = \frac{\omega^2 R}{g} = K_a \quad (7.43)$$

бу ерда  $K_a = \frac{\omega^2 R}{g}$  — ажратиш фактори.

Ажратиш фактори марказдан қочма куч таъсири оғирлик кучи таъсиридан неча маротаба кучли эканлигини билдиради. Ажратиш факторининг қиймати қанча катта бўлса, марказдан қочма қурималарнинг ажратиш қобилияти шунча юқори бўлади.

Маълум бурчак тезлиги билан ҳаракат қилаётган центрифуга ва сепараторлар барабанлари учун (7.43) ифодага  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  ни қуйиб ва  $n^2 \approx g$  деб олиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$K_a = \frac{\pi^2 R}{900} \quad (7.44)$$

(7.44) тенгламадан кўриниб турибдики, марказдан қочма қурималарда ажратиш факторини ошириш учун айланиш частотасини ёки айланиш радиусини кўпайтириш керак. Тенгламадаги айланиш частотаси иккинчи даражали бўлганлиги учун юқори ажратиш факторига эга центрифуга ва сепараторлар барабанларини ҳисоблашда айланиш частотасининг сон қиймати кўпайтирилади, бундай ҳолатда барабаннинг диаметри кичик қилиб тайёрланади.

Заррачага таъсир қилаётган марказдан қочма куч оғирлик кучига нисбатан  $K_a = \frac{\omega^2 R}{g}$  маротаба катталиги ҳисобга олинса, марказдан қочма қурималардаги заррачанинг чўкиш тезлиги чўктирувчи қурималардаги чўкиш тезлигига нисбатан  $\omega^2 R/g$  маротаба катта бўлади.

Марказдан қочма қурималарда ламинар режим учун чўкиш тезлигини ажратиш фактори ҳисобга олинган ҳолатда Стокс тенгламаси ёрдамида топилади:

$$\omega_r = \frac{d^2 g (\rho_k - \rho_w) \omega^2 R}{18 \mu g} = \frac{d^2 \omega^2 R (\rho_k - \rho_w)}{18 \mu} \quad (7.45)$$

Турбулент ва оралик режимлар учун чўкиш тезлигини қуйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{d}{\xi} \cdot \frac{\rho_k - \rho_w}{\rho_w} \omega^2 R}, \quad (7.46)$$

бу ерда  $\xi$  муҳитнинг қаршилик коэффиценти, бу коэффицентнинг қиймати заррачанинг ҳаракат режимига боғлиқ бўлади.

Юқорида келтирилган тенгламалардан кўриниб турибдики, марказда қочма кучлар майдонидаги чўкиш процессида ажратиш

фактори ва чўкиш тезлиги ўзгариб туради, чунки улар айланиш радиусига яъни марказдан заррача турган жойгача бўлган масофага боғлиқ бўлади. Бу масофа эса жараён давомида ўзгариб туради. Марказдан қочма кучлар майдонида қаттиқ заррача кетма-кет учала режим бўйлаб (хусусий ҳолатда эса иккита режим ёки батта режим бўйича) чўкиши мумкин. Шу сабабдан заррачанинг чўкиш вақти ҳам турлича аниқланиши зарур. Чўкиш тезлиги ўзгарувчан қиймат бўлганлиги сабабли вақт қуйидагича топилади:

$$\tau = \int_R^0 \frac{dR}{\omega_r}, \quad (7.47)$$

бу ерда  $\omega_r$  нинг ўрнига тегишли режимлар (ламинар, оралик, турбулент) учун келтирилган тенгламалар бўйича аниқланган чўкиш тезлигининг қиймати қўйилади.

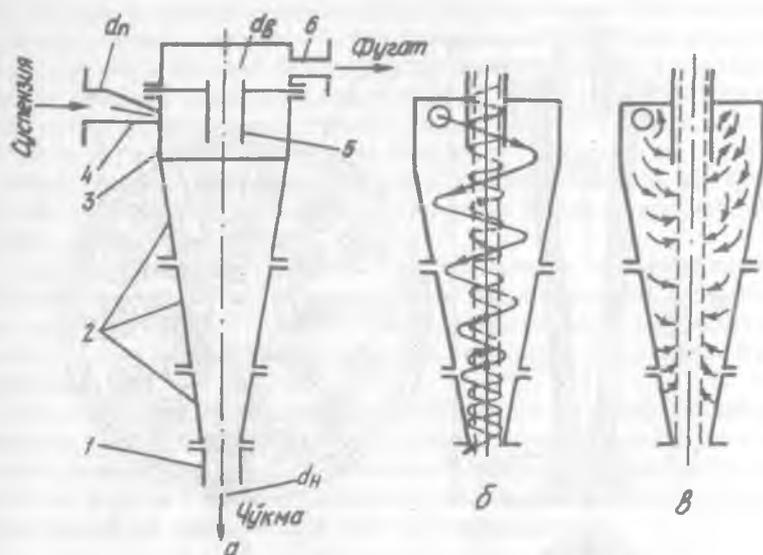
Суспензия таркибидаги қаттиқ заррачаларни марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш учун гидроциклонлар, чўктирвчи центрифугалар ва сепараторлар ишлатилади.

#### 7.7-§. ГИДРОЦИКЛОНЛАР

Гидроциклон цилиндрсимон қобикқа эга бўлиб, унинг диаметри 8 мм дан 700 мм гача бўлади, аппаратнинг пастки қисми эса 10—20° бурчак билан конуссимон қилиб тайёрланади. Гидроциклонларнинг конструкцияси анча рддий бўлишлигидан ташқари, уларда юз берадиган жараёнлар анчагина мураккаб гидродинамик ҳолат билан белгиланади.

7.15- расмда гидроциклоннинг чизмаси кўрсатилган. Суспензия босим билан (0,2—0,3 мПа ва ундан кўп) қурилмага тангенциал йўналиш билан патрубок (4) орқали берилади (7.15- расм, а). Суспензия қурилманинг цилиндрсимон юзаси (3) ёнида винтсимон йўналишда пастга қараб спиралсимон ҳаракат қилади. Суюқлик оқими билан биргаликда қаттиқ заррачалар ҳам пастга қараб ҳаракат қилади, бунда заррачалар марказдан қочма куч таъсирида қурилманинг конуссимон юзаси (2) томон улоқтирилади. Қуйиклаштирилган маҳсулот (чўкма) пастки штуцер (1) орқали қурилмадан ташқарига чиқарилади. Гидроциклоннинг ўқи атрофида четдаги окимларнинг винтсимон ҳаракати таъсирида тиндирилган суюқликнинг юқорига йўналган тесқари қисми пайдо бўлади (7.15- расм, б). Юқорига спиралсимон ҳаракат қилаётган суюқликнинг оқими пунктир чизик билан белгиланган. Тиндирилган суюқликнинг ушбу оқими патрубоклар (5) ва (6) орқали қурилишдан ташқарига чиқарилади.

7.15- расм, в дан кўриниб турибдики, девор ёнидаги ўқли тезликлар пастга йўналган бўлса, ўқ яқинида эса юқорига йўналган бўлади. Радиал тезликларнинг қиймати четдан марказга томон қатталашиб боради. Агар суспензия гидроциклонга юқори босим билан берилса, катта айланма ҳаракат тезликлари таъсирида суюқлик жадаллик билан четга улоқтирилади, марказ-



7.15- расм. Гидроциклон (а) ва ундаги оқим (б ва в) чизмаси:

1 — пастки (чўкма тушадиган) патрубок; 2 — курилманинг конуссимон қисми; 3 — курилманинг цилиндрсимон қисми; 4 — суспензия бериладиган патрубок; 5 — юқориги (тиндирилган суюқлик чиқадиган) патрубок; 6 — тиндирилган суюқлик оқиб чиқадиган патрубок.

да эса суюқликдан холи бўлган канал пайдо бўлади. Натижада марказий каналда вакуум ҳосил бўлади, бундай шароитда ушбу канал суюқликда эриган газлар билан тўлади.

Гидроциклонларнинг нормал ишлаши учун юқориги ва пастки патрубоклар диаметрларининг нисбати катта аҳамиятга эга. Агар  $\frac{d_v}{d_n} = 1,33 \div 1,66$  бўлса, бундай нисбат энг мақбул ҳисобланади.

Гидроциклонлар одатда таркибида заррачаларнинг ўлчами 10—150 мкм бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Бундай аппаратлардан беқарор эмульсияларни ажратиш учун ҳам фойдаланиш мумкин.

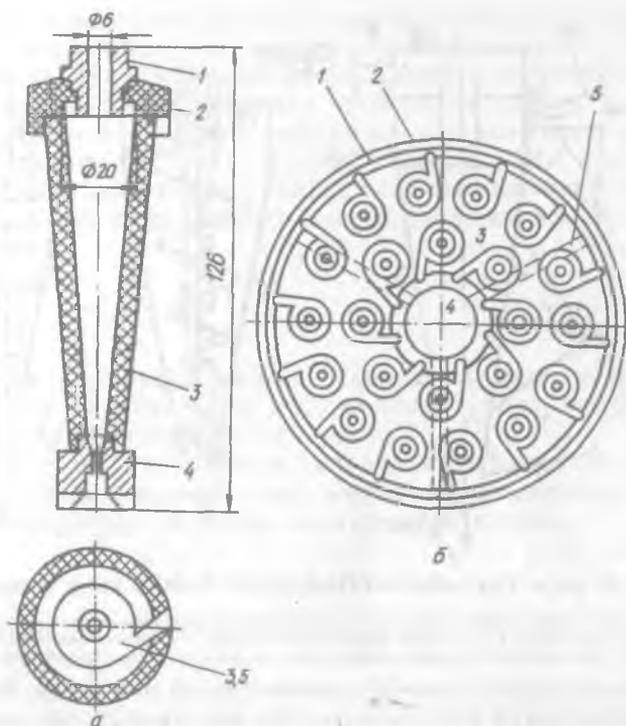
Гидроциклондаги чўкиш даражаси қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\varphi = \frac{G_{кч}}{G_{кс}} \cdot 100, \quad (7.48)$$

бу ерда  $G_{кч}$  — қаттиқ фазанинг 1 м<sup>3</sup> суюқ фазага нисбатан олинган чўкмадаги массавий миқдори;  $G_{кс}$  — қаттиқ фазанинг 1 м<sup>3</sup> суюқ фазага нисбатан олинган суспензиядаги миқдори.

Гидроциклоннинг иш унумдорлиги сув кўмган тешикдан суюқликнинг оқиб чиқиш сарф тенгламасига асосан қуйидаги ифода орқали аниқланиши мумкин:

$$V = \alpha \frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_m g}}, \quad (7.49)$$



7.16- расм. Мультигидроциклонлар:

а — циклоннинг алоҳида олинган элементи; 1 — втулка; 2 — копокок;  
 3 — кобик; 4 — пойнак; б — батареяли мультигидроциклоннинг схемаси;  
 1 — резинали блок; 2 — металл кобик; 3 — мультигидроциклонлар; 4 —  
 суспензия бериладиган марказий труба; 5 — радиал каналлар.

бу ерда  $\alpha$  — сарф коэффициенти;  $\Delta P$  — гидроциклондаги босим фарқи (суспензиянинг кириш тезлиги ёки тиндирилган суюқликнинг чиқиш тезлигига нисбатан олинади;  $\rho_m$  — суюқлик муҳитнинг зичлиги;  $d_n$  — суспензия кирадиган патрубокнинг диаметри.

Ҳисоблаш ишларида суюқлик кирадиган патрубокнинг диаметри  $d_n = (0,14 \div 0,3) D$ , тиндирилган суюқлик чиқадиган патрубокнинг диаметрини  $d_o = (0,2 \div 0,167) D$  деб олинади. Конус бурчагини классификациялаш учун мўлжалланган гидроциклонлар учун  $20^\circ$ , суспензияларни қуйиқлаштириш ва тиндириш учун мосланган гидроциклонлар учун эса  $10\text{—}15^\circ$  қилиб олинади. Гидроциклонларнинг диаметри қўзланган мақсадларга кўра ўзгаради:  $D = 300 \div 350$  мм — классификациялаш учун;  $D = 100$  мм — суспензияларни қуйиқлаштириш учун.

Гидроциклонлар бир қатор афзалликларга эга: узлуксиз режимда ишлайди; тузилиши жуда оддий; нархи арзон; ҳаракат қиладиган қисмлари йўқ; ихчам тузилганлиги оқибатида кам жой эгаллайди; юқори ажратиш даражасини таъминлайди.

Агар кучли марказдан қочма куч таъсири керак бўлган пайтда гидроциклоннинг диаметри жуда кичик қилиб олинади (масалан,  $D=5 \div 20$  мм). Бундай қурилмалар *мультигидроциклонлар* деб аталади. Бундай циклонлардан биттаси 7.16- расмда кўрсатилган. Мультигидроциклоннинг қобиғи (3) ва қопқоғи (2) эбонитдан, втулкаси (1) ва пойнак (4) эса латундан тайёрланган. Тегишли ажратиш даражасига эришиш учун диаметри 5—20 мм бўлган мультигидроциклонларнинг 40—80 донаси бирлаштирилиб, батареялар ҳосил қилинади.

Гидроциклонларнинг янги конструкцияси — центриклонлар ҳам таклиф қилинган. Центриклоннинг цилиндрсимон қисмига эса электродвигатель ёрдамида айланадиган ротор-паррак ўрнатилган бўлиб, у кучли марказдан қочма кучлар майдонини юзага келтиради.

Ҳозирги кунда гидроциклонлар кўмир ва рудаларни бойитиш фабрикаларида, кристалларни ажратиш олишда, целлюлоза-қоғоз, катализаторлар, крахмал, қанд ишлаб чиқаришда, қаттиқ фазага нисбатан ҳар хил концентрацияларга эга турли суспензияларни қуйилтириш ва ажратишда кенг қўлланилмоқда.

#### 7.8-§. ЦЕНТРИФУГАЛАР

Эмульсиядаги суюқлик томчиларини ва суспензиядаги қаттиқ модда заррачаларини марказдан қочма кучлар майдонида ажратиш олиш жараёни *центрифугалаш* дейилади. Центрифугалаш жараёни центрифугаларда амалга оширилади.

Центрифугалашда ҳосил бўлган марказдан қочма кучлар чўктириш жараёнидаги оғирлик кучи ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан кўпроқ таъсир қилади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун ишлатиладиган чўктириш ва филтрлаш жараёнларига нисбатан центрифугалаш жараёни жуда самарали ҳисобланади.

Центрифугаларнинг асосий қисми горизонтал ёки вертикал ўққа жойлашган катта тезликда айланувчи барабан бўлиб, у электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракатга келтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суспензиядаги қаттиқ модда заррачалари чўкмага тушиб, суюқ фазадан ажралади. Суюқ фаза *ф у г а т* дейилади. Ҳосил бўлган чўкма барабан ичида қолиб, суюқ фаза эса ажратиш олинади.

Турли жинсли аралашмаларни ажратиш принципига кўра центрифугалар уч турга бўлинади: 1) филтрловчи центрифугалар; 2) чўктирувчи центрифугалар; 3) тарелкали сепараторлар.

Ажратиш коэффициентига кўра ҳамма центрифугалар икки гуруҳга бўлинади.

1. *Нормал центрифугалар* ( $K_a \leq 3600$ ). Бундай центрифугалар суспензиялардан катта, ўртача ва майдароқ заррачаларни ажратиш учун ишлатилади.

2. *Ўта центрифугалар* ( $K_a > 3600$ ). Бундай центрифугалар майда заррачали суспензияларни ва эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади.

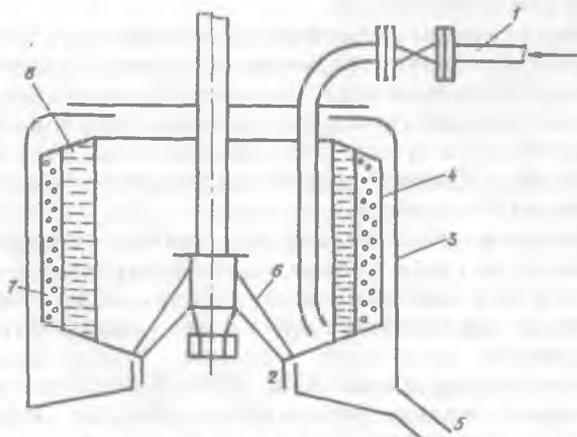
Филтрловчи центрифугаларнинг барабани говаксимон турли металллардан ишланиб, унинг юзасига материал (мато) қопланади. Филтрловчи центрифугаларда суспензия ёки эмульсия марказдан қочма куч таъсирида барабан деворларига қараб отилади, бунда қаттиқ модда заррачалари филтр материалларнинг юза қисмида қолиб, суюқ фаза (фугат) бу куч таъсирида чўкма қатлами ва филтр тўсиқлардан ўтади ҳамда барабандан узлуксиз чиқариб турилади.

Чўктирувчи центрифугаларда барабан яхлит металл пластинкалардан қилинади. Бу центрифугаларда босимлар фарқи марказдан қочма куч таъсирида ҳосил қилинади. Барабан айланиши натижасида марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия барабан деворлари томон ҳаракатланади. Зичлиги катта бўлган суюқлик ва қаттиқ фазалар барабан деворлари яқинида, зичлиги камроқ бўлган бошқа фаза эса ўқ атрофида йигилади.

Тарелкали сепараторлар узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи ўта центрифугалар қаторига киради. Бундай центрифугаларнинг вертикал ротори бўлиб, суюқлик бир неча тарелкаларга тарқалади ва заррачаларнинг чўкиши ламинар режимда амалга оширилади. Тарелкали сепараторлар эмульсияларни ажратиш ва суюқликларни тиндириш учун ишлатилади.

Иш режимига кўра центрифугалар даврий ва узлуксиз бўлади. Барабан валининг ўрнатилиши ҳолатига қараб *горизонтал* ва *вертикал центрифугалар* бўлади. Даврий ишлайдиган центрифугаларда чўкма қўл ёрдамида, гравитацион куч (ёки оғирлик кучи) ва пичоқ билан туширилади. Узлуксиз ишлайдиган центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида, инерцион ва пульсацион кучлар таъсирида туширилади.

Центрифугаларнинг айрим турларини кўриб чиқамиз.

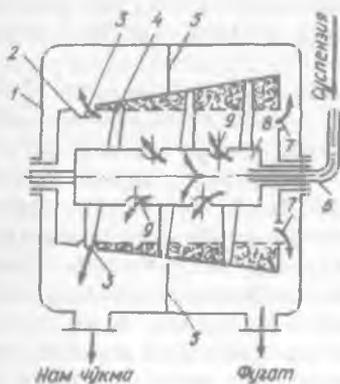


7.17- расм. Чўктирувчи центрифуга қизмаси:

- 1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чўкма тушириладиган тешик;  
 3 — қобик; 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — конус;  
 7 — зичлиги катта бўлган компонент; 8 — зичлиги кичик бўлган компонент.

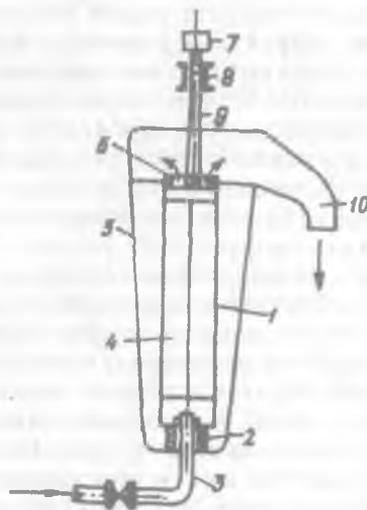
**Чўктирувчи центрифугалар.** Бундай центрифугалар таркибида 40 % гача (ҳажм бўйича) қаттик фаза тутган ва заррачаларнинг ўлчами 5 дан 100 мкм гача бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. 7.17- расмда энг оддий чўктирувчи центрифуганинг схемаси кўрсатилган. Центрифуганинг барабани (4) яхлит бўлиб, қобиқ (3) ичида жойлаштирилган. Турли жинсли система барабанга труба (1) орқали берилади. Барабаннинг айланишида марказдан куч таъсирида зичлиги каттарок бўлган компонент (7) барабаннинг чети яқинидаги ҳажми эгаллайди, зичлиги камроқ бўлган компонент (8) эса айланиш ўқиغا яқинроқ жойда йигилади. Тиндирилган суюқлик (фугат) труба (5) орқали ташқарига чиқарилади. Чўкма қатлами амалий жиҳатдан барабани тўлдиргандан сўнг қурилма тўхтатилади, конус (6) юқорига кўтарилади, сўнгра чўкма тешик (2) орқали туширилади. Бундай центрифуга даврий ишлайди. Центрифуганинг барабани электрдвигатель ёрдамида айлантирилади.

7.18- расмда узлуксиз ишлайдиган центрифуга (НОГШ) нинг чизмаси кўрсатилган. Ушбу центрифугада чўкма шнек ёрдамида ташқарига чиқарилади. Центрифуга қобиқ (1) ичида турли айланма тезлик билан айланувчи иккита барабандан таркиб топган. Цилиндрсимон барабан (8) да суспензиянинг чиқиши учун тешиклар (9) бор. Ушбу барабаннинг ичида шнек (4) бўлиб, чўкмани конуссимон барабан (2) нинг юзаси бўйлаб силжитиб



7.18- расм. Узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи центрифуга:

1 — қобиқ; 2 — конуссимон барабан; 3 — туширувчи тешиклар; 4 — шнек; 5 — труба; 6 — конус; 7 — фугат чиқадиغان тешик.



7.19- расм. Трубали ўта центрифуга:

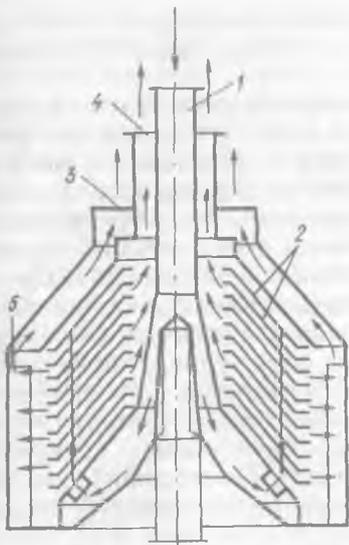
1 — ротор; 2 — пойнак; 3 — суспензия бериш учун труба; 4 — радиал паррақлар; 5 — қобиқ; 6 — тешиклар; 7 — шкив; 8 — таянч; 9 — шпандель; 10 — тиндирилган суюқлик чиқадиغان труба.

туради. Ажратилиши лозим бўлган суспензия труба (6) орқали цилиндрсимон барабаннинг ички қисмига киради ва тешиклар (9) орқали конуссимон барабаннинг ички бўшлиғига ўтади. Марказдан қочма куч таъсирида чўкма конуссимон барабаннинг четки юзасига улоқтирилади ва секин айланувчи шнек ёрдамида туширувчи тешиклар (3) томонга силжитилади. Тиндирилган суюқлик тешик (7) орқали ташқарига чиқарилади. Тўсиқ (5) эса ҳосил бўлган фракцияларни бир-бирига қўшилиб кетишига йўл бермайди. Бундай центрифугалар қаттиқ фазанинг концентрацияси катта бўлган майда дисперсли суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

Трубали ўта центрифуганинг чизмаси 7.19-расмда кўрсатилган. Бундай центрифугалар қаттиқ фаза бўйича концентрацияси кичик бўлган суспензияларни ҳамда эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади. Роторнинг айланиш тезлиги 45000 айл/мин гача етиши мумкин, ажратиш фактори  $K_a = 15000$ . Қобик (5) нинг ичида яхлит деворли ротор (1) жойлаштирилган. Роторнинг ичида радиал парраклар (4) мавжуд, улар ротор айланганда суюқликнинг орқада қолишига тўсқинлик қилади. Роторнинг юқори қисми конуссимон шпиндель билан қаттиқ бириктирилган. Ушбу шпиндель таянч (8) да осилиб туради ва шкив (7) ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Роторнинг пастки қисмида эластик йўналтирувчи пойнак (2) жойлаштирилган. Бу пойнак орқали суспензия бериладиган труба (3) га ўтади. Роторнинг ичида суспензия юқorigа қараб ҳаракатланганда, унинг деворларида қаттиқ заррачалар ўтириб қолади. Яхши ажратиш учун трубали центрифуга роторининг баландлиги унинг диаметридан бир неча марта катта бўлиши керак. Тиндирилган суюқлик тешик (6) дан ўтиб, қурилмадан труба (10) орқали ташқарига чиқарилади. Маълум вақт ўтгандан сўнг центрифуга тўхтатилади ва роторда йиғилган чўкма туширилади.

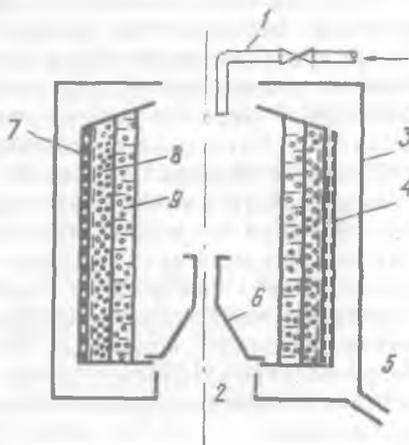
Тарелкали сепараторлар ҳам ишлаш принципига кўра чўктирувчи центрифугаларга ўхшайди. 7.20-расмда суюқликлар ажратишга мўлжалланган тарелкали сепараторнинг чизмаси кўрсатилган. Эмульсия марказий труба (1) орқали роторнинг пастки қисмига юборилади, сўнгра тарелкалардаги тешиклар орқали уларнинг ораликларида юпка қатлам ҳолатида тарқалади. Оғирроқ бўлган суюқлик тарелкалар (2) нинг юзаси бўйлаб ҳаракатланиб, марказдан қочма куч таъсирида роторнинг чети томон улоқтирилади ва тешик (3) орқали ташқарига чиқиб кетади. Енгилроқ бўлган суюқлик роторнинг маркази томон силжийди ва ҳалқасимон канал (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Суюқликнинг айланувчи ротордан орқада қолмаслиги учун ротор қирралар (5) билан таъминланган.

**Фильтрловчи центрифугалар.** Бундай центрифугалар намлиги кам бўлган чўкмалар олиниши ва уларни ювиш зарур бўлган пайтда ишлатилади. Фильтрловчи центрифугаларда катта тезлик билан айланувчи барабаннинг ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг усти майда тешикли материал билан қопланган бўлади.



7.20- расм. Тарелкали сепаратор:

1 — эмульсия берадиган труба; 2 — тарелкалар; 3 — зичлиги катта бўлган суюқликни чиқариш учун тешик; 4 — зичлиги кичик бўлган суюқликни чиқариш учун халқали канал; 5 — қирралар.



7.21- расм. Фильтрловчи центрифуганинг схемаси:

1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чукмани туширадиган тешик; 3 — қобик; 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — корпус; 7 — фильтрловчи материал; 8 — чўкма; 9 — суспензия.

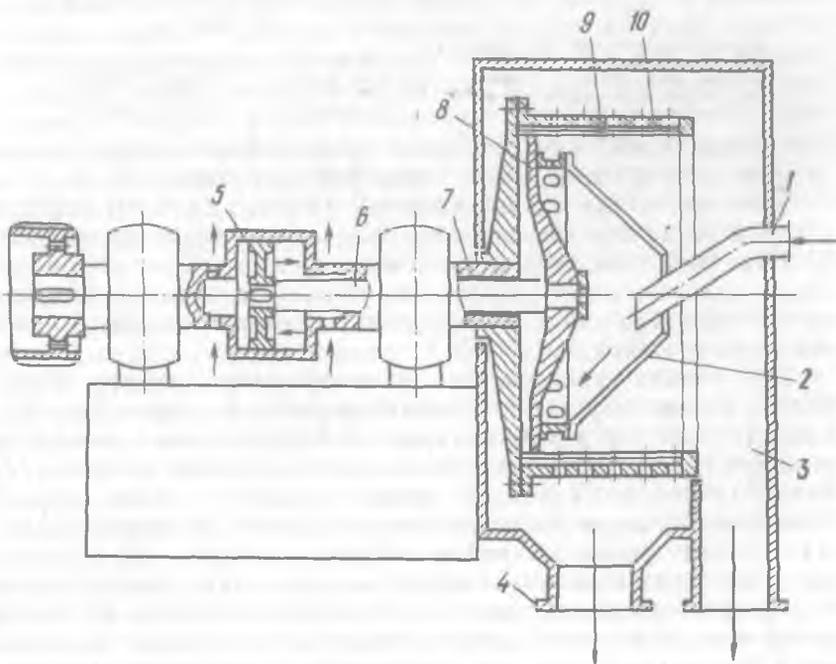
Марказдан қочма куч таъсирида суспензиядаги каттиқ модда заррачалари чўкмага тушиб, суюқ фазадан ажралади.

Қимё саноатида даврий ишлайдиган ФМБ ва ФМД типдаги центрифугалар кенг қўлланилади. Бундай центрифугалар таркибида 1 дан 60% гача ва ўлчами 10 мкм дан катта бўлган заррачаларни ушлаган суспензияларни ажратишда ишлатилади. Айниқса кичик ҳажмли ( $V < 5 \text{ м}^3/\text{соат}$ ) ишлаб чиқаришларда фойдаланиш яхши самара беради.

7.21- расмда фильтрловчи центрифуганинг чизмаси кўрсатилган. Бу центрифуга барабандан ёки ротордан иборат. Барабан қобик (3) нинг ичига жойлаштирилган. Барабан ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг устки юзаси майда тешикли материал (7) билан қопланган. Труба (1) орқали барабанга турли жинсли суспензия берилади. Барабан электродвигатель ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Барабан ичидаги суспензия (9) айланма ҳаракат қилганда унга марказдан қочма куч таъсир этади. Бунга суюқ фазادا гидростатик босим ҳосил бўлади. Бу босим центрифугада фильтрлашнинг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади. Бу куч таъсирида суюқ фаза фильтр тўсиклар устида ҳосил бўлган чўкма (8) дан ўтиб тозаланади. Фильтрловчи центрифугада борувчи жараён учта физик жараёнлар йиғиндисидан иборат: чўкма ҳосил қилиш билан фильтрлаш, чўкманинг зичланиши, чўкмадан суюқликни чиқариш. Фильтрат (фугат) қурилмадан патрубок (5) орқали чиқарилади. Ажратишдан сўнг чўкма сув

билан ювилади. Барча жараёнлар тугагач центрифуга тўхтатилади, конус (6) юқорига кўтарилади ва чўкма тешик (2) орқали туширилади.

Чўкмани тушириш учун пульсацияли поршени бўлган центрифуганинг чизмаси 7.22- расмда кўрсатилган. Суспензия труба (1) орқали конуссимон воронка (2) нинг тор қисмига берилади. Воронка тешиклари бўлган ротор (10) билан бир хил тезликда айланади. Роторнинг ички юзаси тирқишли металл тўр (9) билан қопланган. Суспензия воронканинг ички юзаси бўйлаб силжиб, аста-секин роторнинг айланиш тезлигига яқин бўлган тезликни эгаллайди. Сўнгра суспензия воронкадаги тешик орқали поршен (8) нинг олди қисмидаги тўрнинг ички юзасига улоқтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суюқ фаза тўрнинг тирқишлари орқали ўтиб, центрифуга қобигидан штуцер (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Каттиқ фаза тўрнинг устида чўкма ҳолатида ушлаб қолинади. Поршен ўнг томонга (тахминан роторнинг 1/10 узунлиги) ҳаракатланганда чўкма даврий равишда роторнинг четига сурилади. Чўкма қурилмадан канал (3) орқали туширилади.



7.22- расм. Чўкмани тушириш учун пульсацияли поршени бўлган центрифуга:

1 — суспензияни бериш учун труба; 2 — конуссимон воронка; 3 — чўкмани тушириш учун канал; 4 — фугатни чиқариш учун штуцер; 5 — қайтарма-илгариллама силжийдиган диск; 6 — шток; 7 — ичи бўш вал; 8 — поршень; 9 — металлдан қилинган тирқишли тўр; 10 — тешиклари бўлган ротор.

Вал (7) нинг ичида жойлашган шток (6) да поршен ўрнатилган. Вал электр двигателга уланган бўлиб, роторга айланма ҳаракат беради. Ичи бўш вал ротор билан, шток эса поршен ва конуссимон воронка билан бир хил тезликда айланади. Поршеннинг қайтарма — илгарилама ҳаракатининг йўналиши автоматик равишда ўзгартирилади. Штокнинг бошқа томонига ўққа перпендикуляр қилиб диск (5) кийдирилган. Дискнинг қарама-қарши юзасига тишли насос ёрдамида ҳосил қилинаётган ёғнинг босими таъсир қилиб туради.

ФГП типдаги бундай центрифугалар ҳажмий концентрацияси 20 % дан кам бўлмаган, заррачалари ўлчами 100 мкм дан катта бўлган ва осон ажраладиган суспензияларни қайта ишлаш учун қўлланилади.

Пульсация усули билан чўкма туширадиган ФГП типдаги ва саноатда ишлатиладиган центрифугалар қуйидагича иш унумдорликка эга. 1000—1500 кг/соат (ФГП — 400), 1500—3000 кг/соат (ФГП — 600) ва 3000—6000 кг/соат (ФГП — 800). Бундай қурилмалардан олинаётган тиндирилган суюқликнинг таркибида 0 дан 15 % гача каттиқ фаза бўлиши мумкин.

**Центрифугаларни ҳисоблаш.** Центрифугаларда юзага чиқади-ган марказдан қочма куч  $C$  ( $H$  ҳисобида) қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$G = Mn^2R = M\omega^2R \approx 40Mn^2R \approx 20Mn^2D \quad (7.50)$$

бу ерда  $M$  — центрифуга барабани ичида жойлашган чўкма ва суюқликнинг массаси, кг;  $\omega$  — бурчак тенглиги,  $c^{-1}$ ;  $D = 2R$  — барабаннинг диаметри, м;  $R$  — барабаннинг радиуси, м;  $n$  — центрифуганинг айланиш частотаси,  $c^{-1}$ .

Центрифугалаш пайтидаги фильтрлашнинг босими (Па ҳисобида) тахминан:

$$\Delta P_u = \frac{G}{F} \quad (7.51)$$

бу ерда  $G$  — (7.50) тенглама бўйича аниқланган марказдан қочма куч, Н;  $F = \pi DH$  — ўртача фильтрлаш юзаси,  $m^2$ ;  $D$  — барабаннинг баландлиги ёки фильтрлаш зонасининг узунлиги, м.

$\Delta P_u$  нинг қийматини аниқроқ қилиб қуйидаги тенглама билан ҳисоблаш мумкин:

$$\Delta P_u = 20\rho_c n^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5\rho_c n^2 (D_2^2 - D_1^2), \quad (7.52)$$

бу ерда  $\rho_c$  — суспензиянинг зичлиги,  $kg/m^3$ ;  $D_1 = 2R_1$  — суюқлик ички қатламининг диаметри, м;  $D_2 = 2R_2$  — барабаннинг ички диаметри, м.

Центрифугалаш пайтидаги фильтрлаш тезлиги умумий гидравлика қонунига асосан қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P_u}{R_u}, \quad (7.53)$$

бу ерда  $\Delta P_u$  — центрифугалаш пайтидаги босим фарки;  $R_u = R_r + R_{\text{фр}}$  — центрифугалаш пайтидаги умумий қаршилиқ;  $R_r$  — чўкманинг қаршилиги;  $R_{\text{фр}}$  — фильтрловчи тўсиқнинг қаршилиги.

Центрифуга барабанининг айланишида ҳосил бўлган воронканинг чуқурлигини  $h$  (м ҳисобида) тахминан қуйидаги тенглама билан аниқласа бўлади:

$$h = 2n^2 R^2. \quad (7.54)$$

Чўкмаси пичоқ билан олинадиган АОГ типидagi чўктирувчи центрифуганинг иш унумдорлиги  $V_u$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$V_u = 25,3 \eta L n^2 R_0^2 \omega, k, \quad (7.55)$$

бу ерда  $L$  — барабанининг узунлиги, м;  $R_0$  — суспензия ҳалқасимон қатламининг ички радиуси, м;  $\omega$  — заррачанинг чўкиш тезлиги;

$\eta$  — центрифуганинг ҳақиқий ва назарий иш унумдорликларининг нисбатини ҳисобга олувчи коэффициент ( $\eta = 0,4 \div 0,5$ );

$k$  — суспензияни бериш вақтини (яъни асли центрифуглаш вақтини) центрифуганинг умумий ишлаш вақтига нисбати.

Заррачанинг чўкиш тезлиги  $\omega$ , Стокс тенгламаси (7.3) бўйича аниқланади. Чўкмаси шнек ёрдамида туширилиб, узлуксиз ишлайдиган НОГШ типидagi чўктирувчи горизонтал центрифуганинг суспензия бўйича иш унумдорлиги  $V_u$  ( $\text{м}^3/\text{соат}$ ) ни қуйидаги тенглама ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$V_u = \frac{3,5 [D_u^2 L_u (\rho - \rho_M) d^2 n^2]}{\mu}, \quad (7.56)$$

бу ерда  $D_u$  ва  $L_u$  — фугат оқиб чиқадиган цилиндрнинг диаметри ва узунлиги, м;  $\rho$  — заррачанинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_M$  — муҳитнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $d$  — чўкаётган энг кичик заррачаларнинг диаметри, м;  $n$  — роторнинг айланиш частотаси, айл/мин;  $\mu$  — муҳитнинг динамик ковушоқлик коэффициенти, Па·с.

Даврий ишлайдиган центрифугаларнинг ишга тушириш пайтидаги қувватининг сарфи қуйидаги тенгламалар ёрдамида ҳисобланади.

Барабанининг ишга тушириш пайтидаги инерциясини енгиш учун сарфланган ишнинг қиймати  $T_1$  (Ж ҳисобида):

$$T_1 = \frac{\omega^2 M_0}{2} \quad (7.57)$$

бу ерда  $\omega$  — тегишли айланиш частотасига етган пайтдаги барабанининг тургун айланиш тезлиги (барабанининг радиуси  $R_2$  бўлган ташқи юзаси бўйича), м/с;  $M_0$  — барабанининг массаси, кг.

Центрифугани ишга тушириш пайтидаги юклаш инерциясини енгиш учун сарф бўлган иш  $T_2$  (Ж ҳисобида):

$$T_2 = \frac{0,75 \omega^2 \rho V}{4} \quad (7.58)$$

бу ерда  $\omega_1$  — барабанинг ички радиус  $R_1$  буйича айланиш тезлиги, м/с;  $\rho$  — юкланган материалнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  — центрифуга барабанининг тўла ҳажми,  $V = \pi R_1^2 H, \text{м}^3$ .

$T_2$  ни ҳисоблаш пайтида юкланган материалнинг ҳажмини барабан умумий ҳажмининг ярмига тенг деб олинади. Ишга тушириш пайтида барабан ва юклаш инерциясини энгиш учун сарф бўлган қувват  $N_1$  (Вт ҳисобида):

$$N_1 = \frac{T_1 + T_2}{\tau} \quad (7.59)$$

бу ерда  $\tau$  — ишга тушириш даврининг давомлилиги, с (тажрибаларга асосан  $\tau = 1 \div 3$  мин).

Подшипниклардаги валнинг ишқаланишини энгиш учун сарфланган қувват  $N_2$  (Вт ҳисобида):

$$N_2 = \lambda M \omega_{\text{ц}} g, \quad (7.60)$$

бу ерда  $\lambda$  — ишқаланиш коэффиценти ( $\lambda = 0,07 \div 0,1$  — халқали мойланадиган оддий подшипниклар учун,  $\lambda = 0,03$  — шарикли подшипниклар учун);  $M$  — центрифуга ҳамма айланувчи қисмларининг (юкланган материал билан биргаликда) массаси, кг;  $\omega_{\text{ц}}$  — цапфа валининг айланиш тезлиги, м/с.

Барабан деворининг ҳаво билан ишқаланишини энгиш учун сарфланган қувват  $N_3$  (Вт ҳисобида):

$$N_3 = 2,94 \cdot 10^3 \beta R_2^2 \omega_2^3 \rho_{\text{х}}, \quad (7.61)$$

бу ерда  $\rho_{\text{х}}$  — ҳавонинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  — қаршилиқ коэффиценти ( $\beta = 2,3$ ).

Даврий ишлайдиган центрифуганинг ишга тушириш пайтидаги қувватнинг тўла сарфи  $N_{\tau}$  (Вт ҳисобида):

$$N_{\tau} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (7.62)$$

Ўтказиш қурилмасининг фойдали иш коэффиценти  $\eta_{\text{ф}}$  ҳисобга олингандаги қувватнинг тўла сарфи:

$$N = \frac{N_{\tau}}{\eta_{\text{ф}}} \quad (7.63)$$

Центрифугалар электрдвигателларини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватнинг сарфи аниқланганда 10—20 % запас олинади.

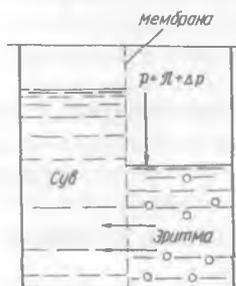
## 7.9-§. УЛЬТРАФИЛЬТРАШ

Ультрафилтратлашнинг асосий мазмуни эритмаларни ярим ўтказувчан мембраналар орқали босим билан ўтказишдан иборат. Махсус тайёрланган (масалан, целлюлоза ацетати ёки полиэтилентерефталат пленкалари асосида) ғовакли мембраналар қуйида-

ги талабларга жавоб бериши керак: а) аралашма компонентларининг айримларини танлаб ўтказиш, қолганларини эса ўтказмаслик; 2) юқори ажратиш қийматига эга бўлиш; 3) механик чидамлилиқ; 4) солиштирма иш унумдорлиги катта; 5) ишлатиш жараёнида техникавий характеристикаларининг ўзгармаслиги; 6) ажратилаётган муҳит таъсирига қаршилиқ кўрсата билиш; 7) таркибиде захарли моддалар бўлмаслиги; 8) нархи арзон.

Ультрафилтрлашнинг моҳиятини қуйидагича тушунтириш мумкин. Мембрана говакларининг ўлчами эритувчи молекулаларнинг ўтиши учун анча катта, эриган моддаларнинг ўтиши учун эса жуда кичик.

Ультрафилтрлаш ва тескари осмос тушунчалари ўртасида амалий жиҳатдан олганда фарқ жуда кам. Агар ультрафилтрлаш юқори молекулали моддалар (молекуляр массаси  $\geq 500$ ) ни қуйиклаштириш ва бир вақтнинг ўзида уларни кичик молекулали моддалардан тозалаш усули ҳисобланса, тескари осмос эса берилган эритмани қуйиклаштириш ёки тоза эритувчини эритмадан ажратиб олиш усулини ташкил этади.



7.23- расм. Тескари осмос процессининг схемаси:

$\pi$  — осмотик босим;  $\Delta P$  — ҳосил қилинаётган босимлар фарқи.

Тескари осмоснинг схемаси 7.23- расмда кўрсатилган. Ушбу жараённинг мақсади сувли эритмани қуйиклаштиришдан иборат.  $P_1$  босимнинг таъсирида бўлган эритувчи (сув) нинг ўз-ўзидан эритмага мембрана орқали ўтиши осмотик босим  $\pi$  нинг қиймати  $P_1$  га тенглашганда ( $P_1 \approx \pi$ ) тўхтайди. Ортиқча босим ( $P = \pi + \Delta P$ ) ташкил этилса, тескари жараён — эритувчини мембрана орқали эритмадан қайта ўтиши юз беради. Бундай жараён тескари осмос деб аталади.

Эритма осмотик босимнинг қиймати  $\pi$  ( $\Pi$ а ҳисобиде) унинг температураси ва концентрациясига тўғри пропорционал ва эриган компонент молекуляр массасига тескари пропорционалдир:

$$\pi = \frac{iRTx}{M} \quad (7.64)$$

- бу ерда  $i = 1 + \alpha$  — Вант-Гофф коэффиценти;  $\alpha$  — эриган модданинг диссоциланиш даражаси;  $R$  — газ доимийлиги;  $T$  — эритманинг температураси, К;  $x$  — эриган модданинг концентрацияси, кг/м<sup>3</sup>;  $M$  — эриган модданинг молли массаси, кг/моль.

(7.64) ифода Вант-Гофф тенгламаси деб юритилади. Ҳисоблашлардан маълумки, турли моддалар эритмалари учун осмотик босимнинг қиймати жуда катта ораликда ўзгаради. Демак, кичик молекулали моддалар эритмаларини ажратиш учун катта осмотик босим таъсирини енгил зарур, ультрафилтрлаш жараёни учун ( $M \geq 500$ ) осмотик босимнинг қиймати одатда  $0,3 \div 1$  мПа га тенг бўлади.

Мембраналарнинг танлаш қобилияти  $\varphi$  (% ҳисобида) қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\varphi = \frac{x_1 - x_2}{x_1} 100 = \left(1 - \frac{x_2}{x_1}\right) 100, \quad (7.65)$$

бу ерда  $x_1$  — эриган модданинг дастлабки аралашмадаги концентрацияси, %;  $x_2$  — эриган модданинг филтратдаги концентрацияси, %.

Мембранадаги ғовақларнинг ўртача диаметри  $d_{yp}$  (м ҳисобида) ни Пуазейл қонунига асосан қуйидаги тенглама ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$d_{yp} = \sqrt{\frac{32V\mu b}{\beta F \Delta P}}, \quad (7.66)$$

бу ерда  $V$  — филтратнинг сарфи, м<sup>3</sup>/с;  $\mu$  — суюқлик қовушоклигининг динамик коэффициент, Па·с;  $b$  — мембрана ғовақларининг қалинлиги, м;  $\beta$  — мембрананинг ғовақлиги;  $F$  — 1 м<sup>2</sup> майдондаги ғовақларнинг юзаси, м<sup>2</sup>;  $\Delta P$  — босимлар фарқи, Па.

Мембрананинг умумий ғовақлари  $\beta$  (% ҳисобида) зичликларнинг қиймати орқали топилади:

$$\beta = \frac{\rho - \rho_1}{\rho} 100, \quad (7.67)$$

бу ерда  $\rho$  — мембрана материалининг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_1$  — мембрананинг (ғовақлари билан биргаликдаги) зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Ғовақлиқнинг қиймати ҳамда ғовақларнинг шакли ва ўлчами мембрананинг ўтказувчанлик қобилиятига (яъни иш унумдорлигига) таъсир қилади. Мембрананинг иш унумдорлиги (ёки филтрлаш тезлиги) мембрана иш юзаси бирлигидан вақт бирлиги ичида олинган филтратнинг ҳажмини ифодалайди:

$$W = \frac{V}{F\tau}, \quad (7.68)$$

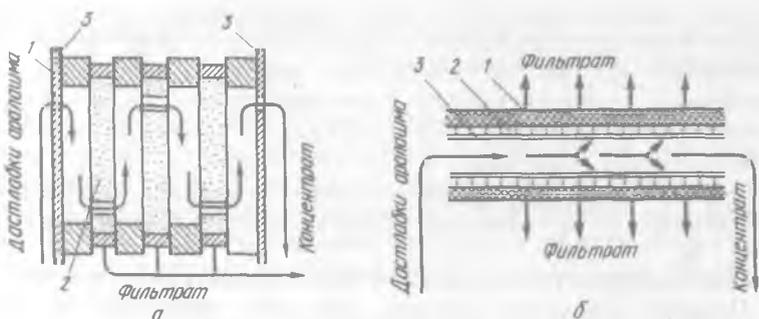
бу ерда  $W$  — филтрлаш тезлиги, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с); филтратнинг ҳажми, м<sup>3</sup>;  $F$  — мембрананинг иш юзаси, м<sup>2</sup>;  $\tau$  — жараённинг давомийлиги, с.

Дарси қонунига асосан мембрананинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$W = \frac{\Delta P}{h_r \cdot r}, \quad (7.69)$$

бу ерда  $\Delta P$  — филтратдаги босим фарқи;  $h_r$  — чўкма қатламининг баландлиги;  $r$  — узунлик бирлигига нисбатан олинган чўкма қатламининг қаршилиги.

7.24-расмда мембранали филтрловчи элементларнинг ишлаш схемаси кўрсатилган. Текис камерали қурилмада (7.24-расм,



7.24- расм. Мембранали фильтрлаш элементларининг ишлаш схемаси:

а — текис камерали қурилма; 1 — мембраналар; 2 — ғовакли аппарат; 3 — фланецлар; б — трубапи қурилма; 1 — тешиклари бўлган труба; 2 — ғоваксимон материал; 3 — мембрана.

а) фильтрловчи элемент ғовакли материал (2) нинг икки томонидан ўрин олган мембраналар (1) дан ташкил топган. Фильтрловчи элементларнинг пакети иккита фланецлар (3) ёрдамида сиқилиб, болтлар билан маҳкамланган. Ажратилиши лозим бўлган эритма кетма-кет ҳамма фильтрловчи элементлардан ўтиб, концентрацияси кўпайган ҳолатда қурилмадан чиқиб кетади. Мембранадан ўтган филтрат ғовакли материал қатлами орқали йиғинчга юборилади.

Трубапи фильтрловчи элемент (7.24- расм, б) мембрана (3) тешиклари бўлган труба (1) ва ғовакли материал (2) дан тузилган. Бундай элементлар цилиндрсимон қобикнинг ичига жойлаштирилади.

Ультрафильтрлаш ва тескари осмос усуллари истикболли ҳисобланади, чунки бир қатор афзалликларга эга. Мембранали қурилмаларнинг тузилиши оддий. Фильтрлаш жараёни оддий температурада олиб борилади. Иқтисодий жиҳатдан анча тежамли.

Мембраналар ёрдамида ажратиш жараёни фазавий ўзгаришларсиз олиб борилади, шу сабабдан энергия асосан эритмани мембрана орқали босим билан ўтказишга сарфланади. Мембранали фильтрлашга кетган энергия сарфи ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан анча кам. Масалан, денгиз сувини тескари осмос усули билан чуқурлаштириш учун тахминан  $7 \text{ кВт} \cdot \text{соат} / \text{м}^3$  энергия кетса, бундай сувни ҳайдаш усули билан чуқурлаштирилганда тахминан  $80 \text{ кВт} \cdot \text{соат} / \text{м}^3$  энергия сарфланади).

Яқин келажакда ультрафильтрлаш ва тескари осмос усуллари-дан кенг фойдаланиш суюқлик аралашмаларини ажратиш, қуюқлаштириш ва тозалаш ҳамда табиий сув хавзаларини муҳофаза қилиш муаммоларини ҳал этишда муҳим аҳамияга эга бўлиши мумкин.

## ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 7.1. Турли жинсли системаларнинг турлари. Техникада бундай системаларни қандай усуллар ёрдамида ажратиш мумкин?
- 7.2. Ламинар ва турбулент режимларда қаттиқ заррачанинг эркин ҳуқиш тезлиги қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 7.3. Эркин ва сиқилган ҳолатдаги ҳуқиш ўртасида қандай фарқ бор? Сиқилган ҳолатдаги заррачанинг тезлигини қайси усул билан аниқлаш мумкин?
- 7.4. Саноатда ҳуқтирувчи қурилмаларнинг ишлатилиши. Ҳуқтириш қурилмаларини ҳисоблаш қайси тартибда олиб борилади?
- 7.5. Фильтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи нимадан иборат? Фильтрлашнинг асосий тенгласи. Доимий коэффицентларни қандай қилиб аниқлаш мумкин?
- 7.6. Фильтр-пресснинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
- 7.7. Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресснинг тузилиши. Қурилманинг ишлаш тартиби қандай?
- 7.8. Барабанли вакуум-фильтрнинг ишлаш принципи. Унинг афзаллиги нимада?
- 7.9. Фильтрловчи қурилмаларни ҳисоблашнинг асосий принциплари.
- 7.10. Марказдан қочма куч майдонида ҳуқишнинг асосий моҳияти. Ажратиш коэффицентининг физик маъноси нимадан иборат?
- 7.11. Гидроциклонларнинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг иш унумдорлигини қайси тенглама орқали ҳисоблаш мумкин?
- 7.12. Гидроциклон, мультигидроциклон ва центрициклонлар ўртасида қандай фарқ бор? Уларнинг умумий томонлари нималардан иборат?
- 7.13. Центрифугаларнинг турлари. Ҳуқтирувчи ва фильтрловчи центрифуганинг ишлаш принципи қандай фарқ бор?
- 7.14. НОГШ типидagi ва трубаги центрифуганинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчиликлари.
- 7.15. Тарелкали сепараторнинг тузилиши. Бундай сепараторлар ишлаш принципи қандай қилиб турдаги центрифугаларга ўхшайди?
- 7.16. Пульсацияли поршени бўлган центрифуганинг схемаси. Бундай қурилмаларнинг иш унумдорлиги қайси чегараларда ўзгариши мумкин?
- 7.17. Центрифугаларда ҳосил бўладиган марказдан қочма куч ва босимнинг қийматларини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 7.18. Даврий ишлайдиган центрифугаларни ишга тушириш пайтида сарф бўладиган қувватни қандай қилиб аниқласа бўлади?
- 7.19. Ультрафильтрлаш жараёнининг моҳияти нимадан иборат? Мембрана ғовақларининг ўлчамини аниқлаш мумкинми?
- 7.20. Мембранали фильтрловчи элементларнинг ишлаш принциплари. Ультрафильтрлаш усулининг истикболи нималардан иборат?
- 7.21. Суюқлик турли жинсли системаларни ажратиш жараёнларини қандай қилиб тезлаштириш мумкин?

## 8-боб. ГАЗЛАРНИ ЧАНГДАН ТОЗАЛАШ

### 8.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Қимё саноатида бир қатор газсимон турли жинсли системалар (чанглар, тутунлар, туманлар) ҳосил бўлади. Донатор материалларни янчиш, аралаштириш, узатиш, қуритиш жараёнларида заррачаларнинг ўлчами  $3 \div 70$  мкм атрофида бўлган чанглар пайдо бўлади. Ёқилгини ёқиш пайтида тутун, бугни конденслада эса туман ҳосил бўлади. Тутун ва туманлар таркибидаги қаттиқ ва суюқлик шаклидаги заррачаларнинг ўлчами  $0,3 \div 5$  мкм га тенг бўлади.

Технология жараёнларини тўғри амалга ошириш учун саноат газлари ва ҳаво чангдан тозаланиши зарур. Аралаштиргичлар, диспергаторлар, кўпчилик модда алмашилиш қурилмалари, қатор кимёвий қурилмалар газ тозалашнинг эффектив схемаларисиз яхши ишлай олмайди. Шундай қилиб, кимё саноати корхоналаридан чиқаётган газ аралашмаларини тозалаш технология жиҳатидан муҳим ва катта аҳамиятга эга.

Газлар: 1) газ аралашмаларидан қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиб олиш; 2) жараён кетиши пайтида унга салбий таъсир қилувчи ва қурилма бузилишини тезлаштирувчи моддаларни газ аралашмаларидан чиқариб ташлаш ва 3) атроф-муҳит ҳавосининг ифлосланишини камайтириш учун тозаланади.

Саноатда ишлаб чиқарилган газ аралашмаларини тозалаш учун қуйидаги усуллардан фойдаланилади: 1) огирлик кучи таъсирида чўктириш; 2) марказдан қочма, электр ва бошқа кучлар майдонида чўктириш; 3) филтрлаш; 4) газларни ювиш.

Газларни чангдан тозалаш учун чўктириш камералари, циклонлар, уюрмали чанг ушлагичлар, скрубберлар, Вентури трубаси, филтрлар, ротацион қурилмалар, электр филтрлар ишлатилади.

Амалда газ аралашмаларидаги майда заррачаларни биргина тозалаш қурилмаларида бутунлай ажратиш мумкин эмас. Шунинг учун кўпинча икки ва кўп босқичли тозалаш қурилмалари ишлатилади, яъни аввал катта заррачалар чанг чўктириш камераларида, сўнгра майда заррачалар электр филтрларда чўктирилади.

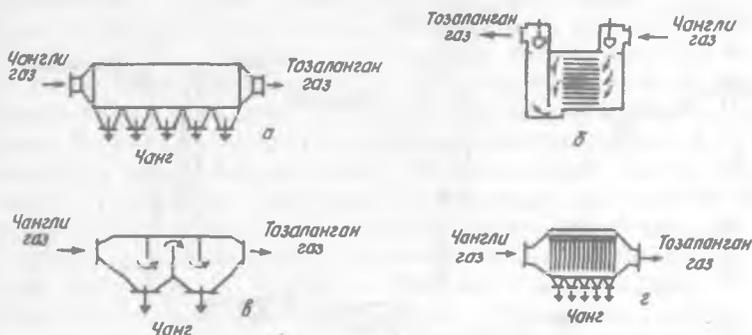
Ҳар бир қурилманинг самарадорлиги газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси билан аниқланади:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100 \% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100 \% \quad (8.1)$$

бу ерда  $G_1$  ва  $G_2$  — тозаланмаган ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар миқдори;  $V_1$ ,  $V_2$  — дастлабки ва тозаланган газ аралашмаларининг ҳажми;  $x_1$  ва  $x_2$  — чангли ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар концентрациялари, кг/м<sup>3</sup>.

## 8.2-§. ЧАНГ ЧЎКТИРИШ КАМЕРАЛАРИ

Огирлик кучи таъсирида чангли газларни тозалаш учун даврий ёки ярим узлуксиз режимда ишлайдиган турли чанг чўктириш камералари ишлатилади. Чанг чўктириш камералари чангли газларни (50 ÷ 100 мкм) бирламчи тозалаш учун ишлатилади. Бундай қурилмаларнинг тозалаш даражаси 40—50 % дан ортмайди. Чанг чўктириш камераларининг ўлчамлари анча катта бўлади. Қаттиқ заррачаларнинг яхши чўкиши учун газ оқимининг тезлиги 3 м/с дан ошмаслиги керак. 8.1- расмда чанг чўктириш камерасининг схемаси кўрсатилган.



8.1- расм. Чанг чуқтириш камералари:

а — горизонтал камера; б — кўп полкали камера; в — тўсиқли камера; г — сим пардали камера.

Энг оддий тузилишга эга чанг чуқтириш камераси 8.1- расм, а да кўрсатилган. Чангли газ оқими сепарацион бўшликда секин ҳаракат қилади, қаттиқ заррачалар эса чанг йигадиған секциялардан бирига тушади. Бундай конструкция оддий тузилишга эга бўлса ҳам катта жойни эгаллайди. Газ оқимининг секин ҳаракатини таъминлаш учун сепарацион камеранинг ҳажми анча катта бўлади.

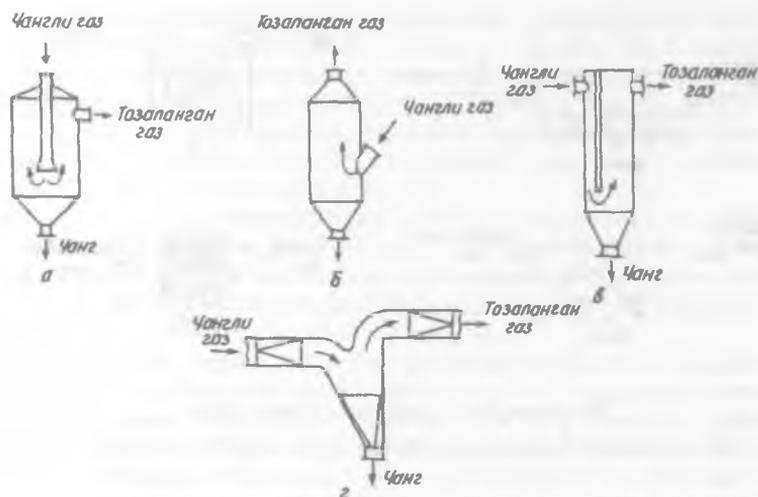
Кўп полкали камерада (8.1- расм, б) сепарацион бўшлик горизонтал полкалар ёрдамида бир неча секцияларга бўлинган. Бундай шароитда чанг заррачасининг чуқиш вақти анча камаяди. Чангни чиқариш учун полкалар қия қилиб жойлаштирилади. Полкалар кўзготувчи қурилмалар билан таъминланиши мумкин.

Тўсиқлари бўлган камерада (8.1- расм, в) гравитацион кучдан ташқари инерцион кучдан ҳам фойдаланилади. Оғирлик ва инерцион кучлардан биргаликда фойдаланиш қурилмаларнинг тозалаш даражасини кўпайтиришга олиб келади.

8.1- расм, г да кўрсатилган камеранинг сепарацион бўшлигида халқали ёки симли парда жойлаштирилган бўлади. Бундай пардаларга газ оқими урилганда филтрланиш жараёни юз бериб, чанг ажралади; тасодифий турбулент оқимлар эса бузилади.

Инерцион чанг ушлағичларда тозалаш даражасини ошириш учун оғирлик кучидан ташқари инерцион кучлардан фойдаланилади. Бундай ҳолатда қурилманинг ўлчами анча камаяди.

8.2- расмда энг оддий инерцион чанг ушлағичнинг схемаси кўрсатилган. Инерцион чанг ушлағичнинг ишлаш принципи қуйидагидан иборат: чангли газ оқими йўналишининг бирдан ўзгариши пайтида, қаттиқ заррачаларнинг зичлиги ҳаво зичлигига нисбатан тахминан 1000 мартаба катта бўлганлиги сабабли, заррачалар ўз инерцияси билан олдинги йўналишда ҳаракатини давом эттириб, газдан ажралгандан сўнг, чанг йиғичга тушади, тозаланган газ оқими эса қурилмадан ташқарига чиқиб кетади.



8.2- расм. Инерцион чанг ушлагичлар:

а — марказий қисмдан газ берилади; б — ён томондан газ берилади; в — қайтарувчи тўсиқли;  
 з — газ оқимининг йўналиши ўзгаради.

8.2- расм, а, б, да кўрсатилган чанг тутгичларни чангли коплар, деб ҳам юритилади. Унинг ишлаши жуда оддий бўлиб, чангли газ кириш патрубкеси орқали пастга қараб ҳаракатланади, сўнгра газ бирданига юқорига бурилади, бунда чанг газ оқимидан ажралиб, қурилманинг пастки қисмига тушади. Масалан, таркибида диаметри 30 мкмдан катта заррачаларни ушлаган чангли газни тозалашга мўлжалланган чангли копларнинг ажратиш даражаси  $65 \div 85\%$  ни ташкил этади. Газнинг кириш патрубкесидаги тезлиги тахминан 10 м/с қурилманинг цилиндрсимон қисмида эса 1 м/с га тенг бўлади. Бундай чанг тутгичнинг гидравлик қаршилиги  $150 \div 390$  Па.

Қайтарувчи тўсиқли чанг тутгич (8,2- расм, в) нинг самардорлиги чангли копларникига нисбатан кам, қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам анча кичик. 8.2- расм, г да кўрсатилган чанг тутгични ишлатиш қулай бўлиб, уларни тўғридан тўғри газ трубаларига жойлаштириш мумкин, бунда газ ўтадиган трубаларнинг диаметри 2 м дан кам бўлмаслиги керак.

Чанг чўктириш камераларини ҳисоблаш учун 7.2- ва 7.3- § ларда берилган тенгламалардан фойдаланилади.

### 8.3- §. ЦИКЛОНЛАР

Оддий чўктириш қурилмаларида газ аралашмаларидаги майда чанглари ажратиш анча қийин. Чўктириш қурилмаларининг ўлчами катта бўлгани учун улар кўп жойни эгаллайди. Бундан ташқари газларни тозалаш даражаси анча кичик. Шунинг учун чангли газ аралашмаларни тозалаш учун саноатда циклонлар кўп

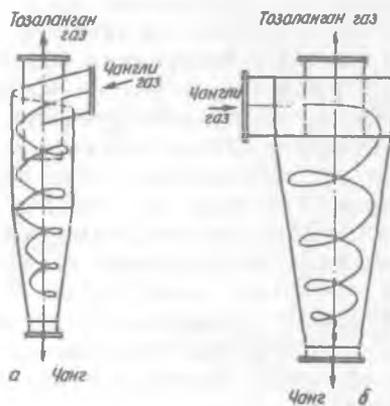
ишлатилади. Циклон цилиндрик ва конуссимон қисмлардан иборат. Қурилмада тозаланган газ чиқадиган ва чанг тушадиган патрубклар бор. Чангли газ циклонга тангенциал йўналишда  $20 \div 25$  м/с тезликда киради. Сўнгра пастга спиралсимон айланма ҳаракат билан йўналади. Натижада марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар ўқдан циклоннинг ички девори томон ҳаракатланади, сўнгра деворга урилиб ўз кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида пастга тушади. Циклоннинг пастки конуссимон қисмида газ оқими инерция бўйича айланма спиралсимон ҳаракатини давом эттиради ва юқорига йўналган оқим пайдо бўлади. Тозаланган газ марказий труба орқали қурилмадан чиқиб кетади. Циклондаги чангли газларнинг тозаланиш даражаси қаттиқ заррачаларнинг катталиги, газ оқимининг тезлиги ва қурилманинг геометрик ўлчамига боғлиқ бўлади.

Циклонлар тузилишига кўра икки турга бўлинади: *цилиндрли* ва *конусли* (8.3- расм). Цилиндрли циклонларда қобикнинг цилиндрли қисми анча узун қилиб, конусли циклонларда эса конуссимон қисми анча узун қилиб тайёрланган бўлади. Цилиндрли циклонлар юқори иш унумдорликка, конусли циклонлар эса юқори тозалаш даражасига эга. Бироқ конусли қурилмаларда босимнинг йўқолиши кўпроқ бўлади. Конусли циклонларда юқоридан пастга қараб кундаланг кесим юзасининг камайиб бориши сабабли қурилма девори яқинида чанг заррачаларининг ажрალიши тезлашади. Цилиндрли циклоннинг диаметри 2 м дан, конусли циклоннинг диаметри эса 3 м дан ортмаслиги керак. Циклонларнинг диаметри 2—3 м дан ортиб кетса, қурилманинг тозалаш даражаси камаяди.

НИИОГАЗ циклонларда чангли газ кирадиган патрубклар қия қилиб жойлаштирилган. Ушбу циклонларнинг учта тури энг кўп ишлатилади: 1) қиялик бурчаги  $24^\circ$  (ЦН — 24) — бундай циклонлар юқори иш унумдорликка ва кичик гидравлик қаршиликка эга бўлиб газ оқимидаги катта ўлчамли чангларни тутиш учун ишлатилади; 2) қиялик бурчаги  $15^\circ$  (ЦН — 15) — нисбатан кичик гидравлик қаршилик билан юқори даражадаги тозаланиш таъминлайди; 3) қиялик бурчаги  $11^\circ$  (ЦН — 11) — юқори самарадорликка эга ва такомиллаштирилган чанг ушлагич сифатида таклиф этилган.

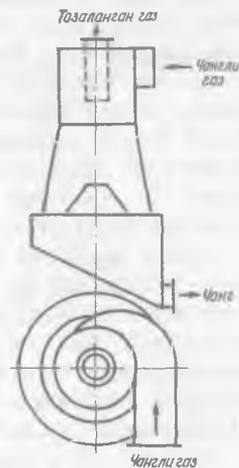
8.4- расмда ВЦНИИОТ конструкцияли циклоннинг схемаси кўрсатилган. Ушбу циклоннинг конуси юқоридан пастга қараб кенгайган. Қурилма кундаланг кесимининг кенгайиши таъсирида газнинг айланма ҳаракати ва заррачанинг деворга босими камаяди. Шу сабабдан бундай циклонларни газ таркибидан юқори абразив хоссага эга бўлган заррачаларни ажратиб олиш учун ишлатиш керак.

Циклонларни сўриш ёки ҳайдаш линияларига урнатса бўлади. Бироқ, айниқса газ оқимининг таркибида абразив ёки ёпишувчан заррачалар бўлса вентиляторларнинг ишлаш муддатини узайтириш учун циклонларни сўриш линиясига, вентилятордан олдин



8.3- расм. НИИОГАЗ конструкцияли циклон чизмаси.

а — цилиндри; б — конусли.



8.4- расм. ВЦНИИОТ конструкцияли циклон чизмаси.

жойлаштириш мақсадга мувофиқ бўлади. Бошқача айтганда, чанг заррачалари вентиляторга кириб, уни тезда ишдан чиқариши мумкин. Циклон билан бункер жуда зич қилиб ўрнатилиши керак, чунки озгина микдордаги ҳавонинг системага тортилиши тозалаш самарадорлигини анча пасайтиради.

Циклонда газ таркибидаги сув бугларининг конденсацияга учрашига йўл қўймаслик учун газнинг температураси шудринг нуктасидан  $10 \div 25^\circ\text{C}$  юқори бўлишлиги керак. Бунинг учун циклонлар тегишли изоляция қатлами билан қопланади, айрим пайтда уларнинг деворлари киздирилади.

Умуман олганда, циклонлар таркибида  $400 \text{ г/м}^3$  гача қаттиқ фаза тутган чангли газларни тозалаш учун ишлатилади. НИИО газ томонидан ишлаб чиқарилаётган циклонларнинг диаметри  $100 \div 1000 \text{ мм}$  га, чангли газларнинг тозаланиш даражаси  $30 \div 85 \%$  га тенг. Чангли газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачаларнинг диаметри катталашган сари газларнинг тозаланиш даражаси  $90 \div 95 \%$  гача ортиши мумкин.

Циклонларда газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси ажратиш коэффициентига боғлиқ:

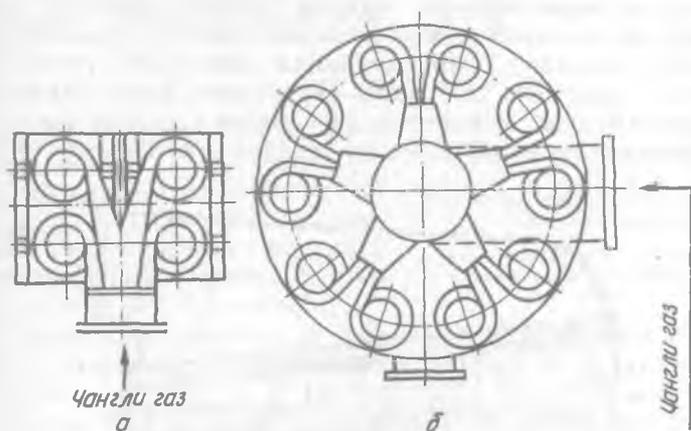
$$K_a = \frac{\omega^2}{rg}, \quad (8.2)$$

бу ерда  $\omega$  — газ оқимининг тезлиги,  $\text{м/с}$ ;  $r$  — циклоннинг радиуси,  $g$  — эркин тушиш тезланиши;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Бу тенгликдан кўриниб турибдики, газларнинг тозаланиш даражасини ошириш учун газ оқими айланма ҳаракатининг радиусини, яъни циклоннинг радиусини камайтириш ёки газ оқимининг ҳаракат тезлигини ошириш керак. Газларнинг тезлиги ортиши натижасида циклонда кучли турбулент оқим ҳосил бўлиб,

гидравлик қаршилик катталашади, чангли газлардаги қаттик заррачаларнинг нормал чуқиши бузилади ва газларни тозалаш қийинлашади. Циклонларнинг радиуси кичиклаштирилса, уларнинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун кўп миқдордаги чангли газларни тозалаш ва ажратиш тезлигини ошириш учун параллел ишлайдиган циклонлар гуруҳи ёки батареяли циклонлар ишлатилади.

Саноатда тегишли иш унумдорлигини таъминлаш учун параллел режимда ишлайдиган циклонлар гуруҳи қўлланилади, бундай шароитда циклонлар умумий чанг йиғадиган бункерга, чангли газ бериладиган ва тозаланган газ юбориладиган коллекторларга эга бўлади. Битта катта циклон ўрнига бир неча кичик диаметрли циклонлардан фойдаланиш бир қатор афзалликларга эга: 1) газнинг чизикли тезлиги бир хил бўлган шароитда кичик диаметрли циклонда кучли марказдан қочма кучлар пайдо бўлади, натижада чанг ушланиш даражаси юқори бўлади; 2) катта диаметрли циклонларнинг баландлиги ҳам катта бўлганлиги сабабли уларни жойлаштириш қийин, кичик диаметрли циклонларни жойлаштириш эса анча енгил.



8.5- расм. Циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари:

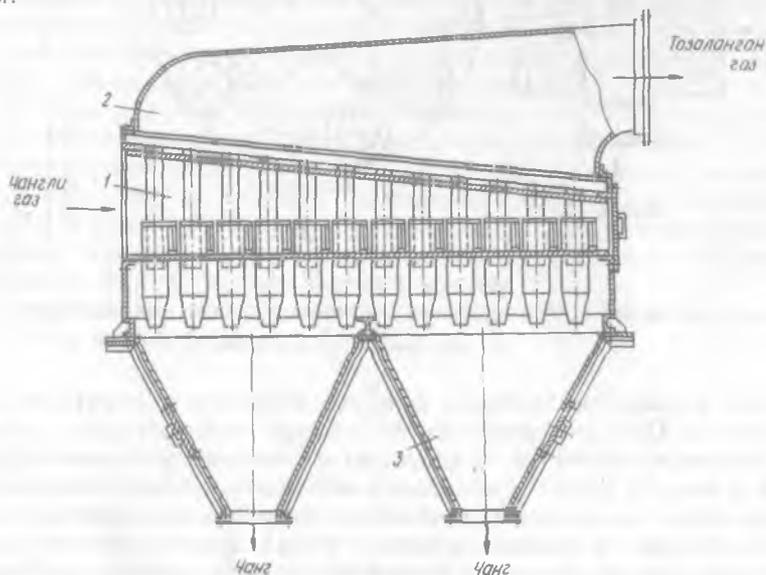
а — жуфт қилиб; б — айлана бўйича.

8.5- расмда циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари кўрсатилган. Циклонларни икки усул билан жойлаштириш мумкин: жуфт-жуфт қилиб (8. 5- расм, а) ва айлана узунлиги бўйича (8.5- расм, б). Жуфт-жуфт қилиб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 2 та, айлана бўйлаб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 10—14 та бўлиши мумкин. Бунда ҳамма циклонлар газ бериладиган вертикал труба атрофида жойлаштирилади. Бирок циклонлар гуруҳининг тозалаш даражаси бу гуруҳга кирган битта циклоннинг тозалаш даражасига тенг бўлади.

Кичик диаметри циклонлар (ёки мультициклонлар) нинг афзаллиги батареяли циклонларда яхши намоён бўлган. Батареяли циклонлар диаметри 100—300 мм бўлган кўп сондаги (айрим-айримда бир неча юз) параллел ишлайдиган циклон элементларидан таркиб топган бўлади. Саноатнинг айрим соҳаларида ишлатиладиган батареяли циклонда 792 та элемент бўлиб, газ бўйича  $650000 \text{ м}^3/\text{соат}$  иш унумдорлигига эга.

8.6-расмда кўрсатилган батареяли циклон (БЦУ) юпқа деворли қобикдан иборат бўлиб, чангли ва тозаланган газлар учун камералар (1), (2) ва чанг йиғувчи бункер (3) дан таркиб топган. Циклон элементлари тегишли тўсиқларга шундай қилиб жойлаштирилганки, бунда элементларнинг тангенциал патрубккалари чангли газ камераси билан, марказий чиқариш трубалари тозаланган газ камераси билан, чанг чиқарувчи тешиклари эса чанг йиғич бункер билан боғланган.

Циклон элементларида газ оқимиغا айланма ҳаракат берувчи тангенциал ёки ўқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилади. Тангенциал уярма ҳосил қилувчилар каторига қисқа ва тораювчи патрубккалар ва спиралсимон трубкалар қиради. Ўқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилганда циклон элементларининг қопқоғи бўлмайди ва чангли газ қобик ва тозаланган газ чиқадиган труба оралигига берилади, ушбу ораликда «винт» (8.7-расм, а) ёки «розетка» типидagi (8.7-расм, б) уярма ҳосил қилувчилар ўрнатилган бўлади. «Винт» типидagi уярма ҳосил қилувчида чанг кам даражада тикилади ва унинг гидравлик қаршилиги нисбатан кам.



8.6-расм. Батареяли циклон:

1 — чангли газ камераси; 2 — тозаланган газ камераси; 3 — чанг йиғидиган бункер.

Саноатда кўпинча диаметри 1 м гача бўлган циклонлар ишлатилади. Агар қатта ҳажмдаги газларни (140 м<sup>3</sup>/с гача) тозалаш зарур бўлса, циклонлар гуруҳи ёки батареяли циклонлар ишлатилади.

Циклонларнинг саноатда кўп ишлатишидан қатъи назар, уларда юз берадиган турли жинсли системаларни ажратиш жараёни тўла тадқиқот қилинмаган, чунки қурилмадаги гидродинамик ҳолат анча мураккаб. Шу сабабдан циклонларни танлаш асосан эмпирик йўл билан олинган натижаларга асосланади. Гидравлика нуқтаи назаридан циклон қандайдир маҳаллий қаршилик, деб олинishi мумкин. Бундай ҳолатда циклоннинг гидравлик қаршилиги газ оқимининг тезлик босимига тенг бўлади:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_{\phi}^2}{2}, \quad (8.3)$$

бу ерда  $\xi$  — циклоннинг қаршилик коэффиценти;  $\rho$  — циклондан ўтаётган газнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega_{\phi}$  — циклон цилиндрсимон қисмининг тўла кўндаланг кесимига нисбатан олинган газнинг фиктив тезлиги, м/с ( $\omega_{\phi}$  - 2,5 ÷ 4 м/с)

Циклоннинг гидравлик қаршилиги қурилманинг типига боғлиқ бўлади. Масалан, НИИОГАЗ конструкцияли циклонлар учун: ЦН — 24  $\xi = 60$ ; ЦН — 15  $\xi = 160$ ; ЦН — 11  $\xi = 250$

Газнинг фиктив тезлиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

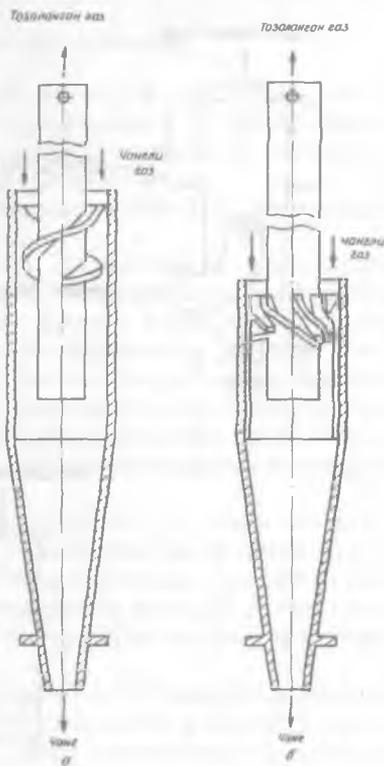
$$\omega_{\phi} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi \rho}} \quad (8.4)$$

$\xi$  ва  $\Delta P/\rho$  нинг қийматлари турли конструкцияли циклонлар учун справочникларда берилган бўлади. Циклон цилиндр қисмининг диаметри сарф тенгласи ёрдамида топилади:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \omega_{\phi}}} \quad (8.5)$$

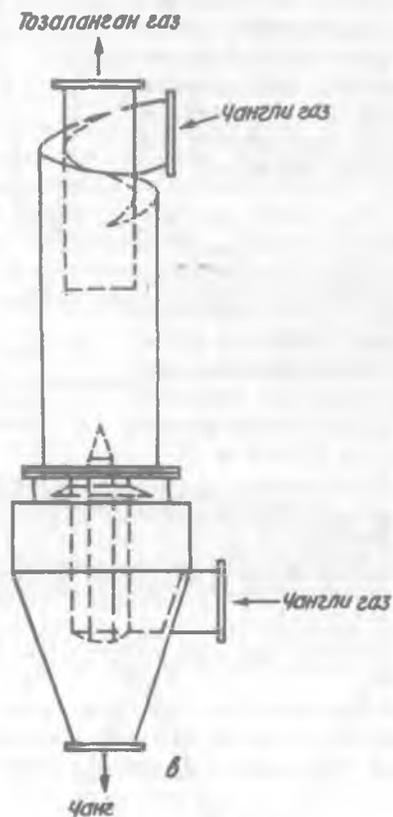
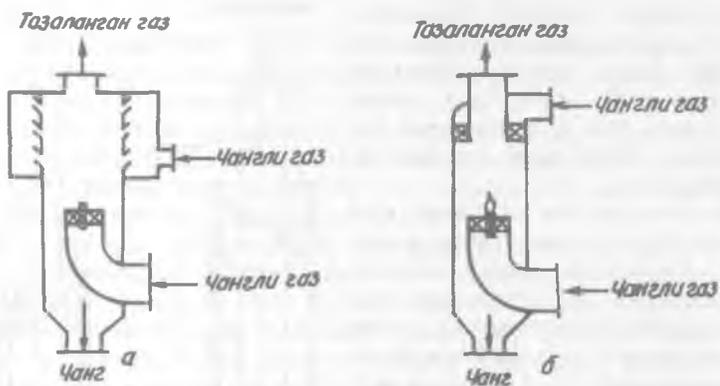
бу ерда  $V$  — циклондан ўтаётган газнинг ҳажмий сарфи, м<sup>3</sup>/с.

Циклоннинг қолган ҳамма ўлчамлари  $D$  га нисбатан стандартлаштирилган.



8.7- расм. Батареяли циклонларнинг элементлари:

а — «винт» типдаги йўналтирувчи парракли;  
б — «розетка» типдаги йўналтирувчи парракли.



8.8- расм. Цилиндрсимон уюрмали чанг тутгич:

*a* — юқориги газ оқимини солло ёрдамида киритиш; *б* — юқориги ва пастки газ оқимларини паррак ёрдамида киритиш; *в* — юқориги ва пастки газ оқимларини тангенциал йуналишида киритиш.

#### 8.4-§. УЮРМАЛИ ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Уюрмали чанг ушлагичлар циклонларга нисбатан анча кейинроқ таклиф этилган. Бундай қурилманинг ўқ йўналишида пастки (бирламчи) ва юқориги (иккиламчи) уюрмали оқимларнинг бир-бирига қарама-қарши ҳаракати мавжуд.

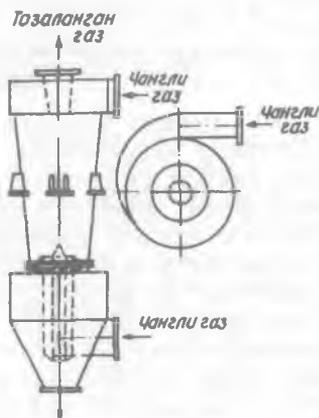
Уюрмали чанг ушлагичнинг схемалари 8.8-ва 8.9- расмларда кўрсатилган.

Юқориги оқим билан кирган чанг заррачалари марказдан қочма куч таъсирида девор юзаси томон улоқтирилади, юза бўйлаб пастга қараб спиралсимон ҳаракат қилиб, чанг йиғиладиган бункерга тушади. Пастки оқим билан қурилмага кирган чанг заррачалари дастлаб газ оқими билан бирга спиралсимон ҳаракатланиб юқорига кўтарилади, кейинчалик марказдан қочма куч ёрдамида девор томон улоқтирилади ва юқориги оқим билан бирга пастга қараб ҳаракатланиб чанг йиғиладиган бункерга тушади.

Чангли газнинг қурилмага кириш усулига кўра уюрмали чанг ушлагич бир неча турга бўлинади: 1) иккиламчи газ оқимини соплло ёрдамида киритувчи (8.8- расм, а); 2) бирламчи ва иккиламчи газ оқимларини паррак ёрдамида киритувчи (8.8- расм, б); 3) бирламчи ва иккиламчи газ оқимини тангенциал йўналишда киритувчи қурилмалар.

Сопло ёрдамида газ оқими кирадиган қурилманинг юқориги қисмида горизонтга нисбатан  $15 \div 30^\circ$  қия қилиб жойлашган бир неча қатор сопллолар ўрнатилган; ушбу тангенциал сопллолар ёрдамида иккиламчи газ оқими уюрма ҳосил қилади. Соплодан чиқаётган газнинг тезлиги  $60 \div 80$  м/с ни ташкил этади. Бундай Қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг ҳажмий сарфи умумий газ сарфининг  $30 \div 50\%$  ини ташкил этади.

Газ оқими паррак ёрдамида ёки тангенциал йўналишда киритиладиган қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг босими соплло ёрдамида кирадиган газ босимига нисбатан анча кам бўлади. Одатда иккиламчи газнинг қурилмага киришидаги босими ва тезлиги тахминан циклонлардаги кўрсаткичларга жуда яқин. Саноат ишлаб чиқаришларида юқориги ва пастки газ оқимлари тангенциал йўналишда кирадиган уюрмали чанг ушлагичлардан фойдаланиш қулай ва арзонга тушади. Бундан ташқари қурилманинг тузилиши содда ва босимнинг йўқолиши камроқ.

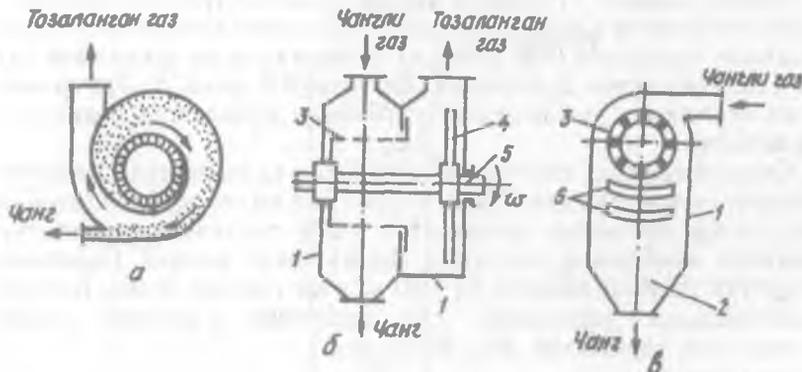


8.9- расм. Конуссимон уюрмали чанг тутгич.

## 8.5-§. РОТАЦИОН ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Ротацион ёки динамик чанг тутгичларда чанг заррачасига таъсир килувчи марказдан қочма ва Кориолис қучлари иш гилдираги (ротор) нинг айланиши натижасида ҳосил бўлади. Чанг тутишнинг умумий қонуниятлари уюрмали ва ротацион қурилмаларда деярли бир хил. Ротацион чанг тутгичнинг асосий афзаллиги шундан иборатки, унинг ишлаши учун қўшимча тортиш-пуфлаш қурилмаси керак эмас. Роторнинг айланиш сонини купайтириш йўли билан инерцион ва марказдан қочма чанг тутгичларга нисбатан, анча юқори самарадорликка эришиши мумкин.

Ротацион қурилманинг асосий камчилиги — кўп энергия талаб қилишидир. Бирок чанг тутиш ва вентиляторнинг вазифалари бирга қўшиб амалга оширилганлиги сабабли, ротацион қурилмалар анча ихчам тузилишга эга. Саноатда ишлатилинаётган ротацион чанг тутгичлар икки турга бўлинади: спиралсимон қобикли ва айланувчан барабанли.



8.10- расм. Айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгич;

а — иш схемаси; б — барабан билан вентилятор битта уқда жойлашган; в — уюрмани камайтирадиган панжара; 1 — қобик; 2 — чанг йигичи; 3 — барабан; 4 — вентилятор гилдираги; 5 — умумий вал; б — уюрмани камайтирадиган панжара.

8.10- расмда айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгичлар кўрсатилган. Бундай қурилманинг ишлаш схемаси 8.10- расм, а да изоҳланган. Тозаланиши лозим бўлган газ юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан орқали ўтади, чанг заррачалари эса марказдан қочма қуч таъсирида барабаннинг ташқарисиде қолади. 8.10- расм, б да кўрсатилган чанг тутгичнинг асосий иш қисмларига ичи бўш ва юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан (3) ва вентилятор (4) киради. Барабан ва вентиляторнинг гилдираги умумий вал (5) га ўрнатилган. Вал электр двигателъ ёрдамида ҳаракатга келади. Барабан (3) нинг ичиде айланувчи гилдирак (4) ёрдамида газни қурилмадан чиқариб юбориш учун етарли бўлган вакуум ҳосил бўлади. Чанг марказдан қочма қуч таъсирида барабаннинг перфорация қилинган юзасидан ажралади ва қобикнинг пастки қисмидаги чанг йигич (2) да тўпланади.

8.10-расм, в да кўрсатилган қурилмада ҳавонинг чанг йиғиладиган қисмидаги кераксиз уюрма ҳаракатларини сусайтириш учун махсус панжаралар (6) ўрнатилган.

Ротацион чанг тутгичлар қаторига махсус турбина билан таъминланган турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар киради. Турбина марказдан қочма куч майдонини ҳосил қилади ва уни кучайтиради. Натижада газларни чангдан тозалаш даражаси кўпаяди.

#### 8.6-§. ГАЗЮВУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Газларни ювиш йўли билан чангдан тозалаш усулидан фойдаланилганда чангли оқим томчи ёки пленка ҳолатидаги суюқлик билан контактда бўлади. Гидрофилл хоссали чанг суюқлик юзасига ёпишиб, у билан бирга қурилмадан ташқарига чиқарилади. Чанг ювишнинг камчилиги — ифлосланган оқинди суюқликларнинг ҳосил бўлишидир. Бундай оқинди сувлар тозалашни талаб қилади. Газ ювиш усули ёрдамида жуда кичик заррачалар (0,1 мкм гача) ни тутиб қолиш имконияти мавжуд ва жуда юқори (99 % гача) тозалаш даражасига эришиш мумкин. Газ ювувчи қурилмаларни чанг тутишидан ташқари бир вақтнинг ўзида қуйидаги вазифаларни ҳал қилиш мақсадида ишлатиш мумкин: газларни совитиш ёки намлаш; чанг билан биргаликда томчи ва туманларни тутиб қолиш; газ қўшимчаларини абсорблаш.

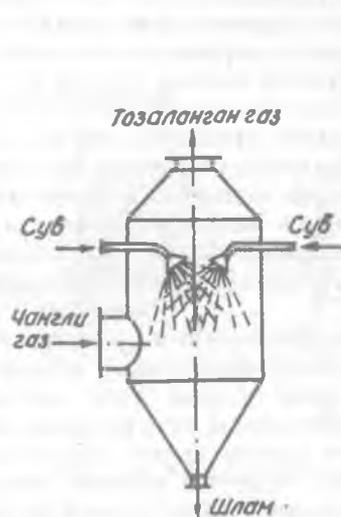
Газювувчи қурилмалар камчиликлардан ҳоли эмас: а) қурилма ва трубопроводлар юзаларига чанг заррачаларининг ёпишиб қолиши; б) суюқлик (одатда сув) нинг сарфи анча катта; в) газларни, айниқса агрессив газларни, тозалаш учун қурилма ва трубопроводларни коррозиядан ҳимоя қилиш талаб қилинади; г) паст температурада ( $0^{\circ}$  С дан кам) ишлатиш мумкин эмас, чунки сув музлаб қолади; д) катта тезлик билан ишлайдиган қурилмалар учун қўшимча томчи ушлагични ўрнатиш талаб қилинади.

Газювувчи қурилмалар қуйидагича синфларга бўлинади: 1) фазалар контакт юзасининг турига кўра; суюқликни сочиб берувчи, кўзғолмас ва кўзғолувчан насадкали, тарелкали (барботажли ва кўпикли) планкали (сув пленкациклонлар ва уюрмали чанг ушлагичлар); 2) иш принципига кўра: гравитацион, марказдан қочма, зарба-инерцион, оқимчали ва механик газювувчи қурилмалар; 3) энергия сарфига кўра уч гуруҳга бўлинади: паст босимли чанг ушлагичлар — гидравлик қаршилиги 1500 Па гача (суюқликни сочиб берувчи, тарелкали, марказдан қочма ва ҳоказо), ўрта босимли чанг ушлагичлар — қаршилиги 1500 дан 3000 Па гача (насадкали, механик, зарба-инерцион ва ҳоказо), юқори босимли қурилмалар (Вентури трубаси, дезинтеграторлар ва ҳоказо).

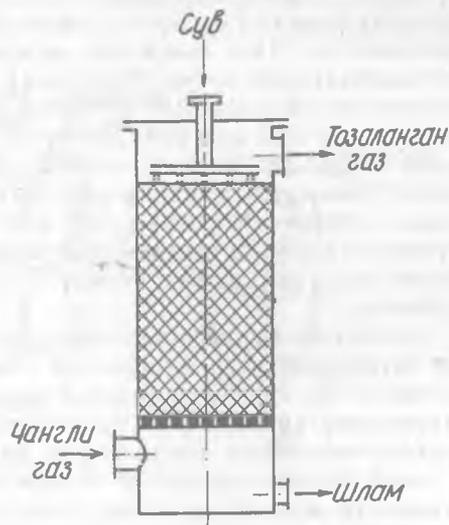
Газювувчи қурилмаларда механик (марказдан қочма, ультратовушли), пневматик (суюқликнинг сочилиши газ ёрдамида

амалга оширилади) ва электр форсункалар ишлатилади (форсунка — суюкликларни пуркаб берувчи асбоб). Механик форсункалар энг кўп тарқалган бўлиб, тузилиши содда, нархи арзон, ишлатиш қулай. 1 т суюкликни ўлчами 0,001 дан 3,5 мм гача бўлган томчилар ҳолатида сочиш учун  $2 \div 20$  кВт энергия сарф бўлади.

**Суюкликни сочиб берадиган газюувчи қурилмалар.** Бундай қурилмалар (скрубберлар) ичи бўш қобикдан иборат бўлиб, уларнинг пастки қисмига чангли газ берилади, юқориги қисмида форсункалар ёрдамида сув сочиб берилади. Газ юқоридан пастга йўналган сув томчиларига нисбатан қарама-қарши ҳаракат қилади (8.11- расм). Томчиларнинг тозаланган газ билан чиқиб кетмаслиги учун уларнинг ўлчами анча катта бўлиши керак. Форсункалар  $0,3 \div 0,4$  мПа босим билан ишлайди. Агар газнинг



8.11- расм. Ичи бўш форсункали скруббер.



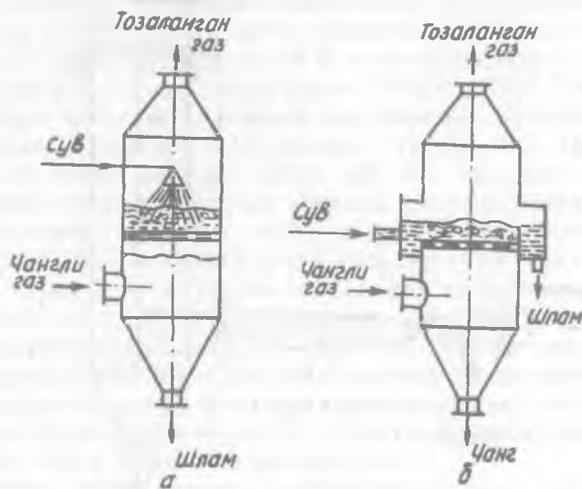
8.12- расм. Насадкали скруббер.

тезлиги 5 м/с дан кўп бўлса скруббердан сўнг томчи ушлагич ўрнатилади. Заррачанинг ўлчами 10 мкм дан катта бўлганда қурилманинг тозалаш даражаси 99 % ни ташкил этади, заррачанинг ўлчами кичиклашиши билан чанг тутгичнинг тозалаш даражаси бирданига камайиб кетади. Суюкликни сочиб борувчи скрубберлар катта ўлчамли чангларни ушлаш, газларни совиштиш ва кондициялаш учун ишлатилади. Қурилманинг баландлиги диаметрига нисбатан одатда 2,5 марта катта бўлади. Сувнинг солиштира сарфи 0,5 дан 8 л/м<sup>3</sup> гача боради.

**Насадкали скрубберлар.** Бундай қурилмаларда контакт юзани кўпайтириш учун қўшимча жисмлар (насадкалар) дан фойдаланилади (8.12- расм). Қўзғолмас насадкалар ҳалқасимон, шарсимон ва бошқа шаклли бўлиши мумкин. Суюклик насадкаларнинг юзалари бўйича плёнка тарзида ҳаракат қилади. Суюкликнинг

солиштира сарфи  $1,3 \div 2,6$  л/м<sup>3</sup>. Насадкали скрубберларнинг гидравлик қаршилиги 300—800 Па. Насадкали скруббернинг ўртача тозалаш даражаси 75—85 %. Бироқ ўлчами 2 мкм дан катта бўлган заррачаларни тутганда қурилманинг тозалаш даражаси 90 % дан ортиб кетиши мумкин. Насадкали скрубберлар сочиб берувчи қурилмаларга нисбатан анча самарали, бироқ уларнинг гидравлик қаршилиги каттароқ.

**Тарелкали газюувчи қурилмалар.** Бундай қурилмаларда газ билан суюқлик ўртасидаги контакт горизонтал жойлашган тарелкаларнинг устида юз беради. Газнинг тезлиги кичик (1 м/с атрофида) бўлганда, газ суюқлик қатлами орқали ўтиб пуфаклар ҳосил бўлади, бу жараён барботаж жараёни деб юритилади. Агар газнинг тезлиги катта бўлса — турбулентлашган кўпик қатлами пайдо бўлади. Шу сабабдан тарелкали скрубберлар икки турга бўлинади: кўпикли ва барботажли.



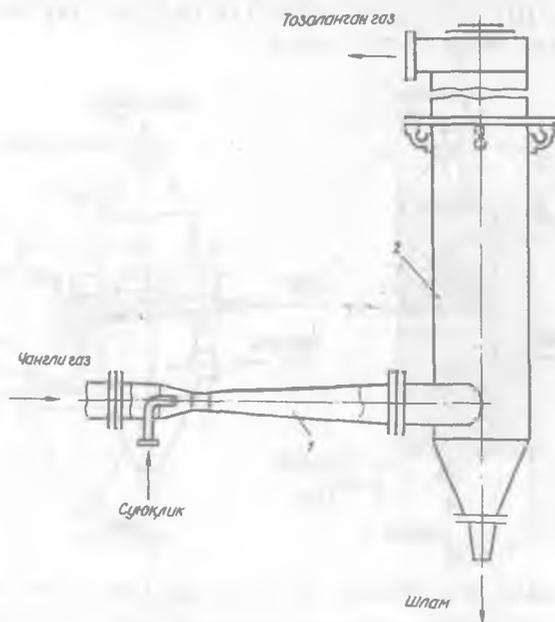
8.13- расм. Кўпикли газ ювчи қурилма:

а — ағдарилма тарелкали; б — қўйилиш тарелкали.

8.13- расмда кўпик ҳосил қилувчи тарелкали газюувчи қурилмаларнинг икки тури кўрсатилган: а) ағдарилма тарелкали; б) қўйилиш тарелкали. Ағдарилма тарелкали скрубберларда тешикли ва тирқишли панжаралар ишлатилади. Тешикларнинг диаметри 4—8 мм, тирқишларнинг кенглиги 4—5 мм. Тарелканинг эркин кесими (умумий кесимга нисбатан тешикларнинг улуши)  $0,2 \div 0,5$  м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Қўйилиш тарелкали қурилмаларда қалпоқчали, S-симон, йиғичи бўлган тешикли ва бошқа типдаги тарелкалардан фойдаланилади.

Бу турдаги қурилмаларда перфорация қилинган тарелкаларнинг сони бир нечта бўлиши мумкин, бундай шароитда тозалаш даражаси ортади (99% гача). Битта тарелканинг гидравлик қаршилиги тахминан 600 Па га тенг бўлади.

Санъатда кўпик қатламини барқарорлаштириб турадиган қурилмаси бўлган тарелкали скрубберлар кенг ишлатилмоқда. Барқарорлаштирувчи қурилма (стабилизатор) кўпikli режимнинг тезлик интервалини анча кенгайтиради (4 м/с гача) ва кўпик қатламининг баландлигини кўпайтиради. Бундай қурилмаларнинг газ бўйича иш унумдорлиги стандартлаштирилган ва 3 дан 90 минг м<sup>3</sup>/соат гача ўзгариши мумкин. Тарелкалардаги газнинг оптимал тезлиги 2,5 ÷ 4,5 м/с, суюқликнинг солиштирма сарфи 0,05 ÷ 0,1 л/м<sup>3</sup>. Кўпikli қурилмалар кимё ва металлни қайта ишлаш саноатида, айниқса минерал ўғитлар ишлаб чиқаришда газларни фтор, олтингугурт, фосфор чангларидан тозалашда яхши самара бермоқда.



8.14- расм. Вентури скруббери:

1 — суюқликни сочиб берувчи труба; 2 — циклон томчи ушлагич.

**Вентури скруббери.** Бундай қурилма суюқликни сочиб берувчи труба (Вентури трубаси) ва суюқлик томчиларини газ оқимидан ажратадиган сепаратордан ташкил топган (8.14- расм). Вентури трубаси 1 тораювчи қисм (конфузор), қисқа цилиндрсимон қисм (бўғиз) ва кенгайиб борувчи қисм (диффузор) лардан тузилган. Суюқлик махсус сочиб берувчи қурилма ёки механик форсунка ёрдамида конфузор (ёки бўғиз) га берилади. Трубанинг характеристикалари қуйидагича ўзгариши мумкин: конфузورнинг қиялик бурчаги 25—28°; диффузорнинг қиялик бурчаги 6—7°; бўғизнинг узунлиги диаметрининг 0,15—0,5 улуши; бўғизнинг диаметри

трубопровод диаметрининг 0,4—0,5 улуши. Босим йўқолишини камайтириш учун Вентури трубасининг ички юзаси механик қайта ишлаш йўли билан силликлантирилади.

Газ — суюқлик оқимининг бўғиздан кейин диффузорга ўтиб, кенгайиши пайтида суюқликнинг қўшимча майда томчиларга ажралиши юз беради. Бу ерда суюқлик томчилари чанг заррачаларини ўзи билан бирга олиб кетади. Томчиларнинг газ оқимидан ажралиш жараёни циклон-томчи ушлагич (2) да рўй беради.

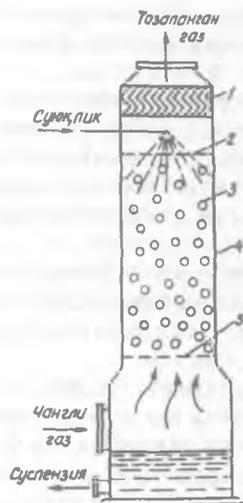
Бўғиздаги газнинг тезлиги 60—150 м/с га етади. Суюқлик ортикча босим (0,03—0,1 мПа) билан берилади. Диффузорда оқимнинг тезлиги 20—25 м/с гача камаяди. Циклонда газ-суюқлик оқимининг тезлиги 4—5 м/с ни ташкил қилади.

Вентури скрубберда чанг заррачаларини ушлаб турган суюқлик томчиларига нисбатан газнинг катта тезлигига эришилади. Шу сабабдан Вентури қурилмасида газ таркибидаги ўлчамли 1 мкм дан кичик бўлган қаттиқ заррачаларни ушлаш имконияти мавжуд. Тозалаш даражаси 99 % гача етади, бироқ қурилманинг гидравлик қаршилиги жуда катта (2200—12800 Па).

**Мавҳум қайнаш қатламли скрубберлар.** Бундай газ ювувчи қурилманинг чизмаси 8.15- расмда кўрсатилган. Цилиндрсимон қобик (4) нинг пастки таянч (5) ва юқориги чегараловчи (2) панжаралари оралигида насадка қатлами мавжуд. Насадка сифатида ичи бўш ёки яхлит шарлар ишлатилиши мумкин. Панжара (5) бир вақтнинг ўзида насадка учун таянч ва газни бир текисда тарқатувчи қурилма вазифасида хизмат қилади. Насадка қўзғолмас қатламининг баландлиги 200—300 мм, панжаралар оралигидаги масофа эса 1200—1500 мм бўлиши мумкин. Шарлар полиэтилен, полистирол, резина, шиша ва бошқа материаллардан тайёрланади; шарнинг диаметри қурилма диаметрининг 0,1 улушидан катта бўлмаслиги керак. Бу турдаги саноат қурилмаларининг диаметри 6,5 м гача бўлиши мумкин.

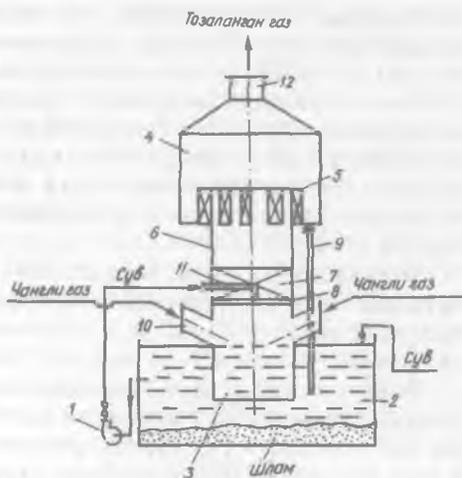
Қурилма тўла мавҳум қайнаш режимида ишлайди, унинг юқориги қисмидан суюқлик форсунка ёрдамида сочилиб турилади. Газнинг тезлиги 4—6 м/с ни ташкил этади. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги насадкалар таъсирида газ оқими турбулизация қилинади, фазалар ўртасидаги юза кўп мартаба янгиланади, оқибатда газ билан суюқлик яхши контактга учрайди. Қурилмада уч фазали қатлам (қаттиқ жисм — газ — суюқлик) ҳосил бўлади. Ушбу уч фазали қатламнинг динамик баландлиги ортиши билан қурилманинг чанг ушлаш самарадорлиги ва гидравлик қаршилиги кўпаяди. Иш режимида гидравлик қаршилик  $0,8 \div 2,0$  кПа ни ташкил этади.

**Айланиб юрвчи насадкали скрубберлар.** Ҳозирда мавҳум қайнаш қатламли газ ювувчи қурилмаларнинг қатор самарали конструкциялари ишлаб чиқилди. Жумладан, Тошкент Давлат техника университети мутахассислари томонидан айланиб юрвчи насадкали скруббернинг бир неча янги турлари таклиф этилди. Насадкалар айланиб юрвчи ҳолатга етганида қатламдаги бўш



8.15- расм. Мавҳум кайнаш ҳолатидаги шарсимон насадкали скруббер:

1 — томчи ушлагич; 2 — юқориги чегарали панжара; 3 — насадка қатлами; 4 — цилиндрсимон қобик; 5 — пастки таянч панжараси.



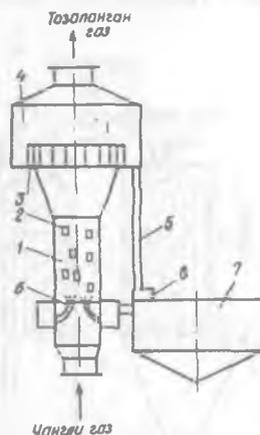
8.16- расм. Айланиб юрувчи насадкали ва суюқлик циркуляция қилиб бериладиган чанг тутғич:

1 — насос; 2 — шлам йиғичи; 3 — қурилма куб; 4 — сепаратор; 5 — уюрма ҳосил қилувчи қурилма; 6 — қурилманинг иш соҳаси; 7 — айланиб юрувчи насадкали қатлам; 8 — таянч панжараси; 9 — қуйилиш труба; 10 — чангли газ қирадиган штуцер; 11 — форсунка; 12 — тозаланган газ чиқадаган патрубок.

ҳажмининг ўлуши  $\epsilon=1$  бўлади. Ушбу скрубберлар Чирчиқ шаҳридаги Ўзбекистон қийин эрувчан ва ўтга чидамли металллар комбинатининг газларни чангдан тозалаш системасида муваффақиятли ишлатилмоқда.

8.16- расмда айланиб юрувчи насадкали ва суюқлик циркуляция қилиб бериладиган скруббернинг схемаси кўрсатилган. Қурилмага суюқлик марказдан қочма насос (1) ёрдамида берилади. Чангли газ панжара (8) нинг пастки қисмига штуцер (10) ёрдамида юборилади. Газ қирадиган штуцер вертикал ўққа нисбатан  $5-10^\circ$  қиялик билан ўрнатилган. Суюқлик панжара юзаси томонга қараб, сочиб берувчи қурилма (11) ёрдамида тарқатилади. Панжаранинг устида насадка қатлами (7) жойлашган. Панжара орқали ўтган газ оқими насадкаларни айланиб юрувчи ҳолатга келтиради. Газнинг тезлигига қўра суюқлик панжара орқали қисман ағдарилиб, қурилманинг куб қисмига тушади ёки иш зонаси (6) орқали қурилманинг юқориги қисмидаги сепаратор (4) га ўтади. Сепараторда марказдан қочма уюрма ҳосил қилувчи (5) ёрдамида суюқлик газдан ажралади. Ажралган суюқлик қуйилиш труба (9) орқали шлам йиғичга тушади. Тозалашган газ патрубок (12) орқали атмосферага чиқарилади. Газнинг тезлиги  $3-12$  м/с, суюқликнинг тезлиги эса  $1 \cdot 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-3}$  м/с чегараларида ўзгариши мумкин.

Майда дисперсли заррачаларни тутиб қолиш даражаси газ тезлигининг ортиши билан кўпаяди, бунинг учун қурилмада туғри йўналишли режим ташкил қилинади. Газнинг тезлиги 7—8 м/с дан юқори бўлиши керак. Бундай шароитда суюқлик панжарадан ағдарилиб, қурилманинг пастки қисмида йиғилмайди. Насос ишлатишга эҳтиёж қолмайди. 8.17-расмда суюқлик инъекцион усул билан бериладиган чанг тутгичнинг чизмаси кўрсатилган. Газ қурилманинг пастки қисмига берилиб, иш соҳаси (1) дан ўтади ва бу соҳада жойлашган насадкалар (2) ни айланувчан ҳолатга келтиради. Газ чангдан иш соҳасида турбулизация қилинган газ — суюқлик қатлами ёрдамида тозаланади. Суюқлик сепаратор (4) да ажралади ва рециркуляция қилиш учун ишлатилади. Суюқлик труба (5) орқали шлам йиғич (7) га қуйилади. Суюқлик таркибидаги майда заррачалар шлам йиғич (7) да чўкмага тушади.



8.17-расм. Айланиб юривчи насадкали ва инъекцион тарелкали чанг тутгич:

1 — иш соҳаси; 2 — айланиб юривчи насадка; 3 — уярма ҳосил қилувчи қурилма; 4 — сепаратор; 5 — қуйилиш труба; 6 — инъекцион қурилма; 7 — шлам йиғич; 8 — сарф ўлчагич.

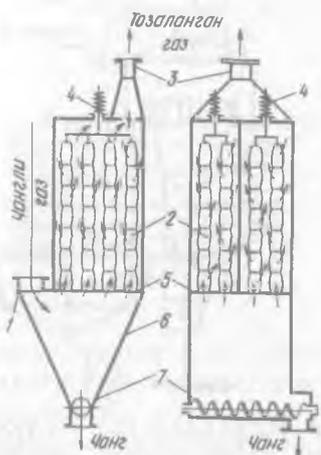
Айланиб юривчи насадкали скрубберларда газ — суюқлик оқими насадкалар ёрдамида кучли турбулизация қилинади. Заррачаларнинг томчиларда чўкиши турбулент — импульсли механизм асосида юз беради. Бунинг учун қурилмада оптимал масштабли интенсив турбулент пульсациялари ташкил этилади. Ушбу скрубберлар ёрдамида газ аралашмалари таркибидаги микронли ўлчам ва турли физик хоссаларга эга бўлган қаттиқ заррачаларни ажратиш олиш мумкин.

Саноат миқёсида олиб борилган тажрибалар шуни кўрсатдики, айланиб юривчи насадкали скрубберларда юқори даражадаги чанг ушлашликка эришилади: 93—96 % 1—2 мкм ли заррачалар учун; 98—99,9 % 5 мкм дан катта бўлган заррачалар учун.

### 8.7-§. ФИЛЬТРЛАР

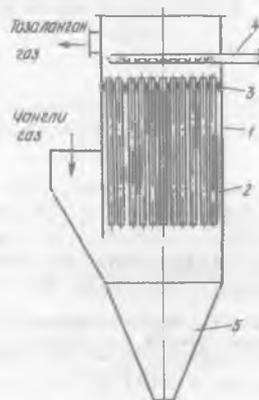
Газларни чангдан филтрлаш йўли билан тозалаш турли ғоваксимон тўсиқлардан фойдаланишга асосланган. Филтрлаш жараёнида ғоваксимон тўсиқлардан газ ўтиб кетади, газ таркибидаги муаллақ ҳолида бўладиган қаттиқ заррачалар

фильтр тўсиқнинг юзасида тутиб қолинади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида пахтали ип ва жун материаллар, сочилувчан (қум, активланган кўмир) ва керамик материаллар ишлатилади. Газларни тозалаш учун энгли фильтрлар кўп ишлатилади. Энгли фильтрларда босим кучининг қаршилиги 60—120 мм сув устунига тенг. Энгли қобик остидаги трубади тўсиқларга маҳкамланади (8.18- расм). Чангли газ фильтрнинг пастки қисмидан кириб энгли тўкималарда чанглардан тозаланиб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Чанглар ва майда заррачалар фильтр энгларининг тешиқларида қолади. Вақт ўтиши билан энгларда чанг қатлами кўпайиб фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ортиб кетади ва натижада қурилманинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун вақт-вақти билан силкитувчи махсус мослама ёрдамида фильтр энглари зарб билан силкитилиб, энглар устидаги чанглар тўкилади ва шнек орқали ташқарига чиқарилади. Баъзи фильтрлар механик



8.18- расм. Энгли фильтр:

1, 3 — газ кирадиган ва чиқадиған штуцерлар; 2 — матодан тайёрланған энглар; 4 — тебрантирувчи қурилма; 5 — энгларнинг пастки қисми маҳкамланған тўсиқ; 6 — чанг тушадиган бункер; 7 — чанг узатадиган шнек.



8.19- расм. Металл-керамикадан тайёрланған патронли фильтр:

1 — қобик; 2 — фильтр элементлари; 3 — патронларни маҳкамлаш учун тўсиқ; 4 — регенерация учун сиқилған ҳаво кирувчи штуцер; 5 — чанг тушадиган бункер.

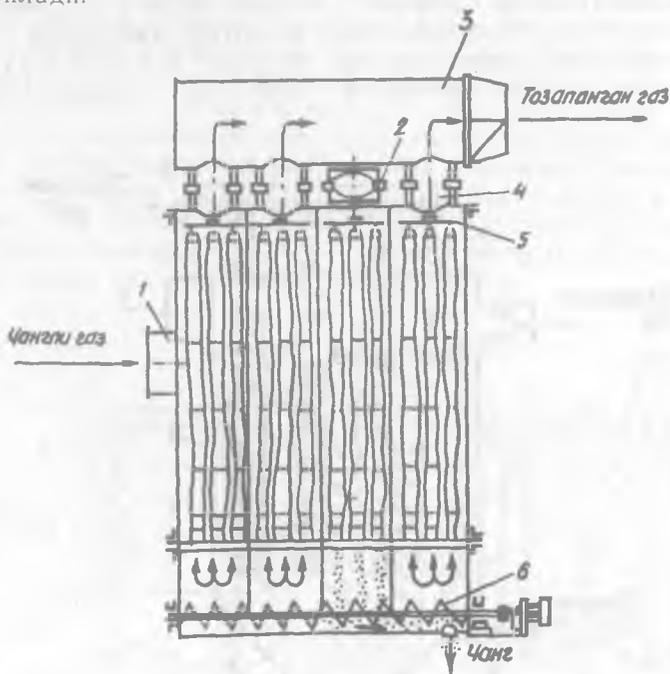
силкитиш билан бирга, уларнинг энглари тозаланаётган газнинг йўналишига қарама-қарши йўналишда ҳаво билан пуфлаб тозаланади. Бундай фильтрда энгларнинг диаметри 20—25 см, узунлиги 2,5—4 м бўлиб, бир неча секциялардан иборат бўлади. Энгли фильтрларда юқори температурали газ аралашмаларини тозалаш мумкин эмас. Агар фильтрнинг энглари пахтали газламадан бўлса, у 65°C да, жунли газламадан бўлса 80—90°C гача ишлайди. Энгли фильтрларда майда дисперс газ аралашмаларининг тозаланиш температураси 60—70°C га тенг.

Қамчилиги: энглар тез ишдан чиқади ва тешиқлари беркилиб қолади; юқори температурадаги ва нам газларни тозалаш мумкин

эмас. Юқори температурали (қизиган) газларни тозалаш учун филътрнинг энглари жунли газламаларга капрон толаларидан қушиб тайёрланади. Бундан ташқари, филътр энглари сифатида шиша толали газламалар ҳам ишлатилади.

Юқори температурадаги чангли газларни тозалаш учун говаксимон патронлари металлокерамикадан тайёрланган филътрлар ишлатилади.

8.19- расмда металлокерамик материалдан тайёрланган филътрловчи элементлар (патронлар) тусиққа маҳкамланган. Чангли газ филътрловчи элементлардан ўтиб, тозаланган газ қурилманинг юқориги қисмидан чиқиб кетади. Чанглар филътрловчи элементларнинг устки юзасида ва тешикларида ушланиб қолади. Филътрловчи элементларнинг говаклари тўлиб қолгандан кейин улар сиқилган ҳаво ёрдамида ёки тозаланган газ билан пуфлаб регенерация қилиниб, яна қайтадан тозалаш цикли давом эттирилади.



8.20- расм. Кўп секцияли энгли филътр:

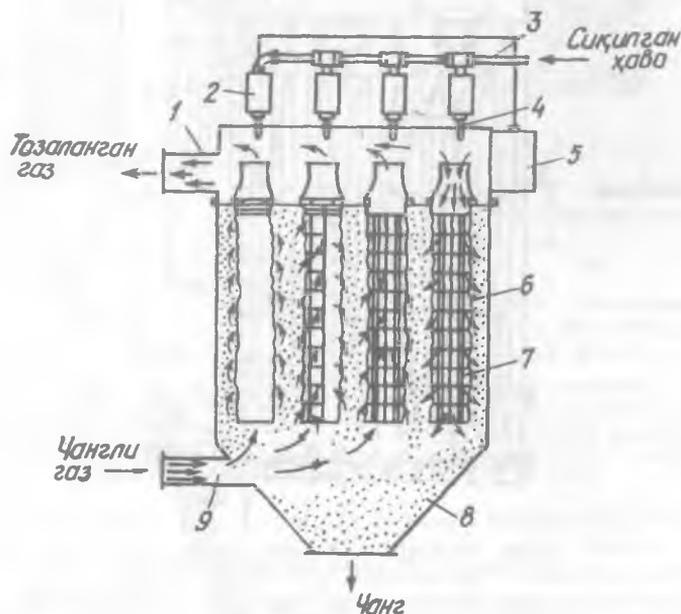
1 — чангли газ кирадиган штуцер; 2 — регенерация қилиш учун тебрантирувчи қурилма; 3 — тозаланган газ чиқадиган штуцер; 4 — секциянинг клапани; 5 — энглар осиб қўйиладиган рама; 6 — чангни узатиш учун шнек.

8.20- расмда кўп секцияли энгли филътр кўрсатилган ҳар бир секцияда бир неча энглар бор. Чангли газ секцияларнинг пастки қисмидан энгларнинг ичига киради, филътрловчи мато орқали ўтиб тозаланади, сўнгра қурилманинг юқориги қисмидаги штуцер

оркали ташкарига чиқарилади. Чанг аста-секин энгларнинг ички юзасига ўтириб, филтърдаги босим йуқолишини купайтиради. Чанг қатламининг баландлиги тегишли қийматга етганда, газ берилиши тўхтатилади, тебрантирувчи қурилма ёрдамида чанг энглардан ажралиб бункерга тушади. Сўнгра энгларни регенерация қилиш учун тоза ҳавонинг тескари оқими юборилади. Бу оқим филтър тўсиқдан ўтиб, унинг филтърлаш қобилиятини тиклайди. Ушбу филтърнинг иш режими автоматик бошқарилади.

Энгли филтърлар одатда босим қиймати 2,5 кПа гача ишлайди. Филтърларнинг айрим турларида катта босим ёки вакуум қўлланилади. Масалан, Г4—5ФМ филтърли 20 кПа гача босим билан, ФРУ, ФВС-45 ва ФРН-30 филтърлари эса сийракланиш режимида ишлайди.

8.21- расмда курсатилган филтърнинг энгларини тебрантириш, ўрнига сиқилган ҳаво билан 0,1—0,2 с давомида импульсли пуфлаш ишлатилади. Сиқилган ҳавонинг ортиқча босими 400—800 кПа га тенг. Импульсларнинг частотаси минутига 5—10 та. Филтърловчи материал сифатида фетрлар ёки лавсанли мато қўлланилади. Бундай филтърлар НИИОГАЗ (Газларни тозалаш



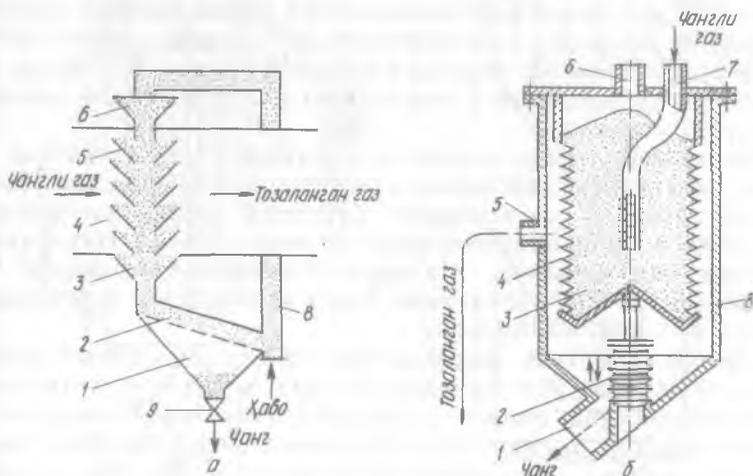
8.21- расм. Импульсли пуфладиган энгли филтър:

1 — тозаланган газ чиқадиган штуцер; 2 — сиқилган ҳаво клапани; 3 — сиқилган ҳаво берилдиган сопло; 4 — сиқилган ҳаво берилдиган сопло; 5 — регенерацияли автоматик бошқарадиган асбоб; 6 — энглар; 7 — каркас; 8 — чанг йиғилдиган бункер; 9 — чангли газ кирадиган штуцер.

илмий-тадқиқот институти) да ишлаб чиқилган ва кимё, озиқ-овқат, металлургия саноатида ҳамда қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда ишлатилади. Ишлатилган филтрларни регенерация қилиш, яъни дастлабки хоссаларини тиклаш, секцияларнинг ишини тўхтамасдан амалга оширилади.

Юқори температурали ва физик-кимёвий усуллар билан газларни чангдан тозалаш учун донатор материал қатламига эга бўлган филтрлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай филтрларда насадка сифатида шағал, кум, шлак, қипик, резина ва пластмасса майда увоклар, турли ишлаб чиқариш чиқиндилари ишлатилиши мумкин. Айрим пайтда филтр тўсик билан ушлаб қолиниши лозим бўлган материал бир хил бўлади. бундай шароитда филтр регенерация қилинмайди, филтрлаш жараёни тамом бўлгандан сунг донатор филтр ушлаб қолинган материал билан бирга ишлаб чиқаришга қайтарилади.

8.22- расмда донатор филтрнинг икки хил қурилмаси кўрсатилган. Вибротурли филтрда (8.22- расм, а) регенерация донатор қатламнинг ҳаракати давомида узлуксиз давом этади. Бундай филтрда донали қатлам бункер (6) дан пастга қараб ҳаракат қилиб, газ таркибидаги чанг заррачаларини тутади. Вибротўр (2) да чангни ушланган заррачалари ажралиб, бункер (1) га тушади. Чангдан тозаланган филтрловчи донатор материал механик ёки пневматик конвейер (8) ёрдамида бункер (6) га юборилади. Асосий камчилиги — филтрловчи доналарни циркуляция қилиш системасининг ўлчами катта.



8.22- расм. Донали филтрлар:

а — вибротўрли; 1 — бункер; 2 — вибротўр; 3 — донали филтр тўсик; 4 — чангли ва тозаланган газ йўли; 5, 7 — тешиклари бўлган тўсиклар; 6 — янги донали материал учун бункер; 8 — конвейер; 9 — ушланган чанглари узатиш учун затвор; б — сифонли; 1 — ишлатилган доналарни узатиш учун штуцер; 2 — сифон; 3 — донали филтрловчи тўсик; 4 — панжара; 5 — тозаланган газ учун штуцер; 6 — янги донали материални юклаш учун штуцер; 7 — чангли газ учун штуцер; 8 — кобик.

8.22- расм, б да кўрсатилган қурилмада филтрловчи доналар тутиб қолинган чанг билан бирга ишлаб чиқаришга қайтарилади. Бундай филтр масалан, асбест саноатида ишлатилади.

Мутахассислар томонидан филтрларнинг бир қатор янги самарали турлари ишлаб чиқилди. Жумладан, НИИОГАЗ да филтр-циклон яратилди. Бу қурилманинг ишлаши икки босқичдан иборат бўлиб, газ биринчи босқичда (филтрда) катта ўлчамли чанг фракциясидан, иккинчи босқичда (циклонда) эса кичик ўлчамли чанг заррачаларидан тозаланади.

### 8.8-§. ЭЛЕКТРОФИЛТРЛАР

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдон таъсирида чўктириш бошқа чўктириш усулларига қараганда кўп афзалликларга эга. Чўктириш қурилмалари — циклонларда, англи филтрларда, скрубберларда оғирлик кучи ва марказдан қочма кучлар таъсирида ўта майда заррачаларни чўктириш мумкин эмас.

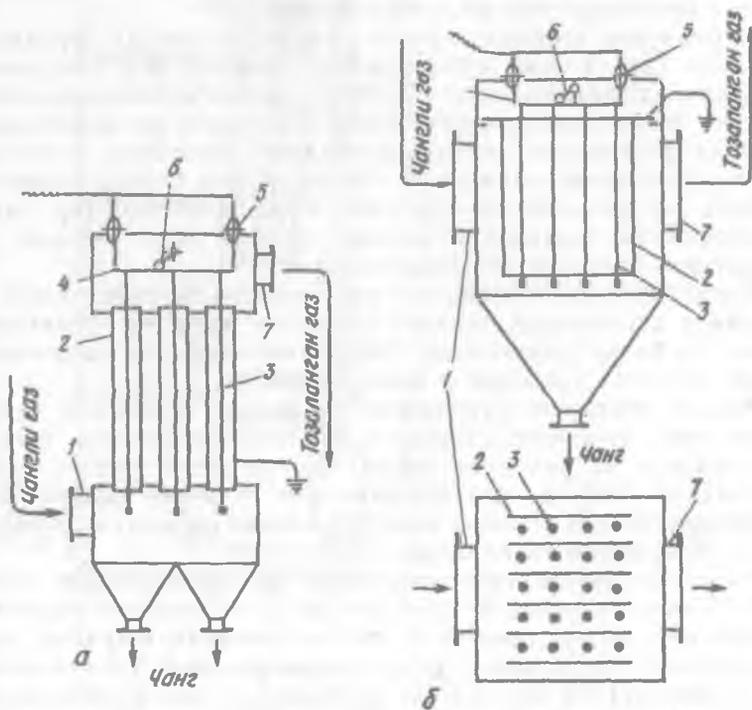
Электрофилтрлар ёрдамида газ таркибидаги энг кичик, жумладан субмикронли (ўлчами 0,005 мкм дан катта) заррачаларни ушлаш мумкин. Бундай қурилмаларда газ аралашмаларини ажратиш даражаси 99,9 % гача етади. Электрофилтрларнинг гидравлик қаршилиги  $100 \div 150$  Па гача бўлади, чангли газнинг температураси  $-20$  дан  $+500^\circ\text{C}$  гача бўлиши мумкин. Электрофилтрнинг камчилиги: юқори металл ушлашлик; ўлчамлари катта; иш режимининг ўзгаришига таъсирчан; чангнинг портлаш ва ўт олиш хавфсизлигини таъминлашга юқори капитал сарфлар зарурлиги сабабли, электрофилтрдан газнинг сарфи катта бўлганда фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Шу кунда газ бўйича иш унумдорлиги 1 млн  $\text{м}^3$ /соат дан кўп бўлган электрофилтрлар мавжуд.

Электрофилтрлар нурланувчи (манфий зарядланган) ва чўктирувчи (мусбат зарядланган) электродлардан ташкил топган бўлади. Иккита электродлар ўртасида юқори кучланишли ( $U = 35000 \div 70000$  В) электр майдони ҳосил бўлади. Нурланувчи электрод сим шаклида, чўктирувчи электрод эса труба ёки пластина шаклида тайёрланади. Ушбу электродлар оралигидаги масофа 100—200 мм бўлади.

Таркибида қаттиқ заррачалари бўлган газ оқими юқори кучланишли электр майдондан ўтганда ионизация ҳодисасига учрайди, яъни унинг молекулалари мусбат ва манфий зарядланган заррачаларга ажралади. Бунда бутунлай ионлашган газ қатлами чўгланиб, нур ва чарсиллаган овоз чиқаради. Бу сим нурланувчи электрод деб аталади. Манфий зарядланган чангнинг электронлари нурланувчи электроддан мусбат зарядланган чўктириш электродларига томон ҳаракат қилганда ўз йўлида қаттиқ заррачаларга учрайди ва уларни зарядлайди. Зарядланган заррачалар чўктириш электродига яқинлашганда ўзининг зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади.

Электрофильтрлар юкори кучланишли ўзгармас токда ишлайди, чунки ток ўзгарувчан бўлганда зарядланган заррачалар ўз ҳаракат йўналишини ўзгартириб, чўктириш электродларида чуқишга улгуролмай, газ билан қурилмадан чиқиб кетиши мумкин. Ўзгармас ток кучланиши 220—500 В бўлган ўзгарувчан токдан кучайтирувчи трансформатор ва тўғрилагич ёрдамида олинади. Электрофильтрнинг нурланувчи электродлари ток манбаининг манфий кутбига, чўктирувчи электродлари эса мусбат кутбига уланади.

Чўктириш электродининг тайёрланишига қараб трубали ва пластинали электрофильтрлар бўлади, бироқ уларнинг ишлаш режимида принципаал фарқ йўқ. Электрофильтрнинг схемаси 8.23- расмда кўрсатилган. Масалан, трубали электрофильтрда (8.23- расм, а) трубаларнинг диаметри 150—300 мм бўлиб, уларнинг ўртасидан 2 мм ли симлар тортилган, улар нурланувчи электрод вазифасини бажаради. Тозаланиши керак бўлган газ қурилмасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг ичидан пастдан юкорига қараб ҳаракат қилади ва тозалангандан сўнг



8.23- расм. Электрофильтр

а — трубали; б — пластинали; 1 — чангли газ кирадиган штуцер; 2 — чўктирувчи трубасимон, пластинкасимон электродлар; 3 — нурланувчи электродлар; 4 — рама; 5 — изоляторлар; 6 — силкитувчи қурилма; 7 — тозаланган газ чиқадиغان штуцер.

юкоридан чикиб кетади. Манфий электродлар (яъни симлар) умумий рамага осилган бўлиб, рамалар эса изоляторларнинг устига ўрнатилган. Электродларга ўтириб қолган чанглар махсус механизмлар ёрдамида тебрантирилиб, қурилманинг пастки қонус қисмига туширилади.

8.24-расмда ШМК маркали бир секцияли вертикал нам электрофильтрлар қўрсатилган. Бу фильтр газни сульфат кислота туманидан, селен ва мышьяк заррачаларидан тозалаш учун ишлатилади. Пулатдан ясалган цилиндрсимон қобик (7) нинг ички қисми кислотага бардошли ғишт ва полиизобутилен юпка қатлами билан қопланади. Қурилманинг қопқоғи қўрғошин листи билан химоя қилинган. Қўрғошинли чўктирувчи электродлар (6) олти қиррали труба қўринишида тайёрланган. Бу электродлар қурилманинг юқори қисмига маҳкамланган панжара (5) га осиб қўйилган. Панжара пулатдан тайёрланиб, қўрғошин билан қопланган. Олти қиррали ҳар бир трубанинг ўқи бўйлаб эркин ҳолатда нурланувчи электрод (4) осиб қўйилган. Нурланувчи электрод қўндаланг кесими юлдузча шаклига эга бўлган симдан тайёрланган. Бу симнинг юқориги қисми қурилма қобиғидан изоляция қилинган рамага бириктирилиб, юк осиб қўйилган.

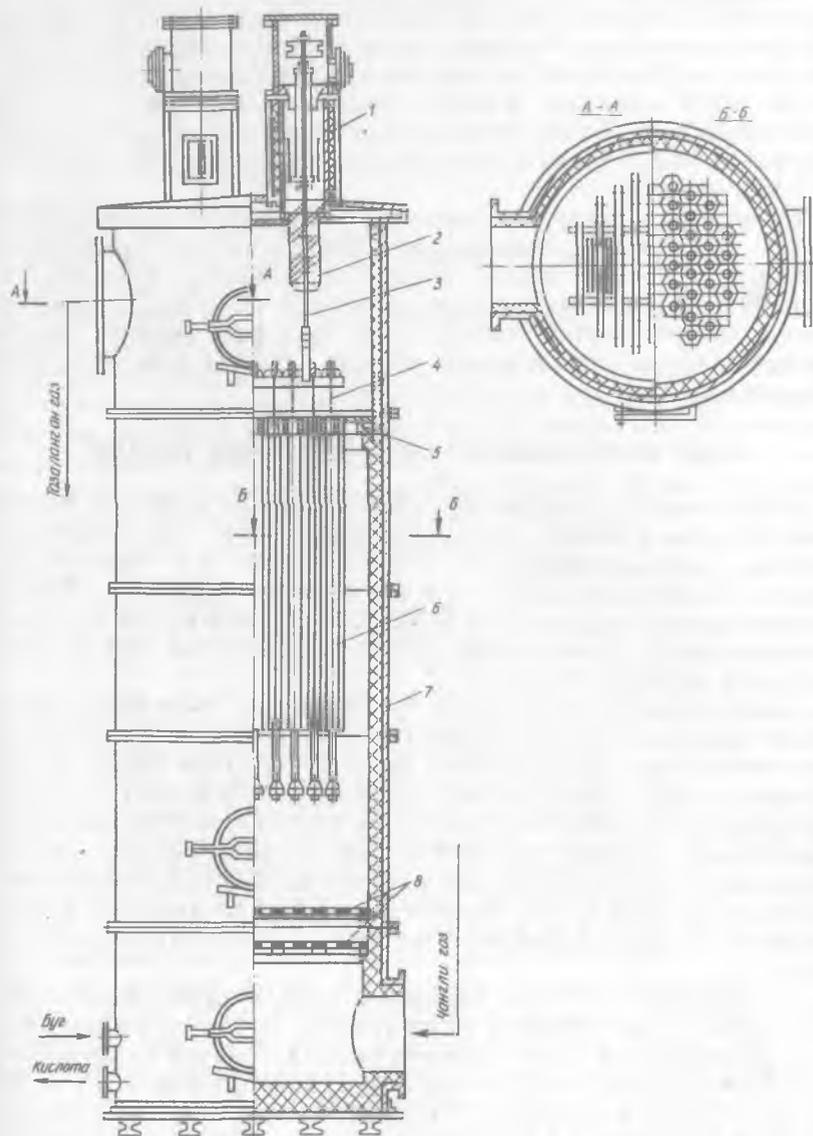
Нурланувчи электродларнинг рамаси тортғич (3) ёрдамида изолятор (2) га осиб қўйилган, изоляторлар эса қопқоқнинг қутичаларида маҳкамланган. Изоляторларнинг қутичалари электр иситғич билан таъминланган. Ушбу иситғичлар конденсаторлар юзасида намликнинг конденсацияланиб қолишини йўқотади. Қобик (7) газнинг кириши ва чиқиши, буғни бериш, ушланган кислота ва шламни узатиш учун тегишли штуцерлар билан таъминланган. Қобикнинг пастки қисмида икки қаторли газ тарқатувчи панжара (8) ўрнатилган.

Йиғилган кислота қобикнинг пастки қисмида тўпланади ва иш давомида қурилмадан чиқариб турилади. Қурилма тўхтатилиб, иссиқ сув билан ювилгандан сўнг, йиғилган қаттиқ заррачалар шлам сифатида ташқарига чиқарилади.

Электр чўктириш қурилмасининг ишлаш принципи чангли газларнинг хусусияти, таркиби ва температурасига боғлиқ. Температура ва ҳавонинг молекуляр оғирлиги ортиши билан системадан ўтаётган токнинг миқдори кўпайиб боради. Чанг заррачаларининг катталиги камайиши билан қурилманинг фойдали иш коэффициентини камаяди.

Электрофильтрларнинг гидравлик қаршилиги жуда кичик (10—15 мм сув устуни). Бундай фильтрлар энг самарали қурилма ҳисобланиб, катта ҳажмдаги чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Электрофильтрлар электродларнинг ўрнатилишига кўра горизонтал ва вертикал ҳолда бўлади. Худди шунингдек, газ аралашмаси таркибидаги заррачаларнинг ҳолатига кўра қуруқ ва нам электрофильтрлар бўлиши мумкин.

Электр чўктириш қурилмасининг тузилиши содда бўлса ҳам, унда борадиган жараён анча мураккабдир. Шу сабабли электр чўктириш қурилмаларини умумий ҳисоблаш усули ишлаб чи-



8.24- расм. Трубали нам электрофильтр:

1 — копкок кутчаси; 2 — изоляторлар; 3 — торгич; 4 — нурланувчи электродлар; 5 — панжара; 6 — чуқтирувчи электродлар; 7 — цилиндрсимон қобик; 8 — икки қаторли газ тақсимловчи панжара.

қилмаган. Ҳисоблаш пайтида тажрибадан олинган маълумотлардан фойдаланилади. Масалан, труба типдаги қурилмалар учун ток кучи  $J = 0,3 \div 0,5$  мА/м, пластинали қурилмалар учун  $J = 0,1 \div 0,3$  мА/м олинади; майдон кучланганлиги 450 кВ/м, иш кучланиши  $35 \div 70$  кВт, труба типдаги қурилмалар учун газнинг тезлиги  $w = 0,8 \div 1,5$  м/с, пластинали қурилмалар учун  $w = 0,5 \div 1$  м/с олинади.

Электрофильтрлар газ таркибида ўта майда заррачалар ва томчиларнинг концентрацияси кам бўлган пайтда уларни тўла тозалаш учун ишлатилади. Бундай қурилмалар, масалан, газ таркибидаги қимматбаҳо металлларни ажратиб олишда, цемент ва кўмир чангини тутиб қолиш учун, сульфат кислота ишлаб чиқаришда газ таркибидаги кислота томчиларини ажратиб олишда ишлатилади.

### 8.9-§. ГАЗ ТОЗАЛАЙДИГАН ҚУРИЛМАЛАРНИ ТАНЛАШ

Газ тозалайдиган қурилмаларни танлашда қуйидаги асосий факторларга аҳамият берилиши керак: чанг заррачасининг ўлчами, унинг тозаланиши лозим бўлган газ таркибидаги концентрацияси ва зарур бўлган тозалаш даражаси. Юқори концентрацияли газлар учун ҳамда қаттиқ фаза муҳим маҳсулот ҳисобланганда, тозалашнинг қуруқ усулларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Газни тозалаш даражасига бўлган талаб атмосфера ҳавоси тозалигининг зарур бўлган санитария-гигиена нормалари билан ёки технология ускуналарининг ишлаш шартлари билан боғлиқ бўлади. Газларни тозалаш, масалан, компрессор ва вентилятор иш органлари ейилишининг олдини олиш имкониятини беради ҳамда реактордаги контакт бўлаётган массаларни ифлосланишдан сақлайди. Газни тозалайдиган қурилмаларни ва уларнинг материалларини танлашда газ таркибида намлик ва агрессив компонентларнинг борлиги, уларнинг миқдори ва температураси ҳисобга олинади.

Тозалашнинг тегишли даражаси қурилманинг типини, конструкциясини ва ўлчамини тўғри танлаш ва уни тўғри ишлатиш орқали эришилади. Чанг ушлашни яхшилаш одатда қурилманинг ўлчамини ёки унинг энергия ҳажминини кўпайтиришни талаб этади. Масалан, энгли фильтрлар, чўктириш камералари, электрофильтрлар газнинг тезлиги кам бўлганда, яъни қурилманинг ўлчами катта бўлганда анча самарали ишлайди. Циклонлар, катта тезлик билан ишлайдиган газ ювувчи қурилмалар, зарба беришга асосланган скрубберлар самарали чанг ушлаш режимида ишлаганида катта гидравлик қаршиликка эга бўлади ёки суюқликнинг катта сарфини талаб қилади. Бунда энергия сарфи кўпаяди. Аралашма таркибидаги чанг заррачалари қанчалик кичик бўлса ва газни тозалаш даражаси қанчалик юқори бўлса, газни тозалайдиган қурилмаларни қуриш ва уларни ишлатишга шунчалик катта маблағ талаб қилинади.

Чанг ушлагичнинг тегишли типини танлаш пайтида унинг имкониятлари ҳисобга олиниши керак. Чангли камералар, циклонлар ва бошқа инерцион чанг ушлагичлар арзон ва тузилиши оддий, бироқ улар ёрдамида газ таркибидаги фақат катта заррачаларни ушлаш мумкин. Шу сабабдан бундай чанг ушлагичлар янчиш машиналарининг аспирацион қурилмаларида, сочилувчан материалларни узатиш системаларида, электрофильтр ва энгли фильтрлардан олдин ҳамда ушланган чанг заррачаларини уларнинг ўлчамларига кўра фракцияларга ажратиш керак бўлганда ишлатилади.

2—5 мкм ўлчамли заррачаларни ушлайдиган кўпчилик нам чанг ушлагичларни, газларни қўшимча совитиш, намлаш талаб қилинганда ёки уларни эрувчан компонентлар (аммиак, сульфид гази) дан тозалаш керак бўлганда, ишлатиш яхши натижа беради. Катта тезлик билан ишлайдиган газ юувчи қурилмалар (масалан Вентури скруббери) ишлатилганда газ таркибидаги жуда кичик заррачаларни ушлаш имконияти пайдо бўлади, бироқ уларни ишлатиш учун кўп энергия талаб қилинади. Нам чанг ушлагичлар ишлатилганда ҳосил бўлган суспензиялар (пульпа ва шламлар) ни қайта ишлашга ҳамда қурилмаларни коррозиядан ҳимоя қилишга аҳамият берилади.

Энгли фильтрлар ва электрофильтрлар ёрдамида газ тозалашнинг юқори даражасига эришилади, бунда аралашма таркибидаги майда заррачалар ҳам тутиб қолинади, бироқ газни тозалашдан олдин маълум температурага иситиш талаб қилинади. Электрофильтрлар учун чангнинг электр ўтказувчанлиги, ўлчамлари, ёпишқоқлиги ва кимёвий таркибига кўра, оптимал ишлаш шарт шароитлари танлаб олинади (газнинг температураси, намлиги, тезлиги; электродларнинг конструкцияси ва силкитиш усули). Электрофильтрнинг гидравлик қаршилиги кам, газ тозалаш жараёнини автоматлаштириш имконияти эса жуда катта. Ўлчамига кўра электрофильтр энгли фильтрга яқин, бироқ катта маблағ талаб қилади, ишлатиш эса анча арзонга тушади. Қуруқ электрофильтрни газнинг температураси 400—500° С га етгунча ишлатиш мумкин. Бунда электрофильтрларни катта ҳажмдаги газни ( $0,5 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/соатдан бошлаб) тозалашда ишлатиш яхши иқтисодий самара беради. Иш унумдорлиги кичик бўлганда электрофильтрлардан фойдаланиш солиштирма маблағ сарфини асоссиз ортиб кетишга олиб келади. Бундан ташқари портлаб кетиш хавфи бўлган газ аралашмаларини ажратишда электрофильтрлардан фойдаланиш мумкин эмас. Бундай шароитда энгли фильтрлар ёки нам чанг ушлагичлар ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Зарур бўлган тозалаш даражасига кўра газ аралашмаларини ажратиш бир ёки бир неча босқичли бўлиши мумкин. Газларни бирламчи, яъни катта ўлчамли чанг заррачаларидан ажратишда, бир босқичли тозалаш усулидан фойдаланилади. Бирламчи тозалашни амалга ошириш қийинчилик тугдирмайди. Газларни ўта майда заррачалардан ажратишда тозалашнинг кўп босқичли

(одатда икки боскичли) схемасидан фойдаланилади. Бирламчи тозалаш учун бир ёки бир неча чанг ушлагич қурилмалари ишлатилади, сўнгра нозик тозалаш қурилмаларидан фойдаланилади. Газларни нозик тозалаш қурилмаларига юқори талаблар қўйилади. Одатда газларни нозик тозалаш мақсадида энгли фильтрлар, электрофильтрлар ва уюрмали чанг тутгичлар ишлатилади.

#### ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 8.1. Газларни чангдан тозалашнинг аҳамияти. Газсимон аралашмаларни қандай усуллар билан ажратиш мумкин?
- 8.2. Чанг чуқтириш камераларининг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг самарали ишлаши учун қандай талабларни бажариш керак?
- 8.3. Циклонларнинг ишлаши қандай принципга асосланган? НИИОГАЗ ва ВЦНИИОТ конструкцияли циклонлар ўртасида қандай фарқ бор?
- 8.4. Батарейли циклонлар. Циклон элементлари қандай тузилган?
- 8.5. Уюрмали чанг ушлагичнинг ишлаш принципи нимадан иборат? Бундай қурилмалар қандай афзалликларга эга?
- 8.6. Ротацион чанг ушлагичнинг тузилиши. Бундай қурилмалар қаторига нима сабабдан турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар киради?
- 8.7. Газ ювувчи қурилмаларнинг турлари. Уларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
- 8.8. Суюқликни сочиб берувчи ва насадкали скрубберларнинг ишлаш принциплари ва уларнинг тозалаш даражаси.
- 8.9. Тарелкали газ ювувчи қурилмалар неча турга бўлинади? Ушбу скрубберларнинг иш режими қайси кўрсаткич орқали белгиланади?
- 8.10. Вентури скрубберининг тузилиши. Унинг тозалаш даражаси. Газ тезлигининг ўзгариш чегаралари.
- 8.11. Мавҳум кайнаш қатламли скруббернинг тузилиши. Насадкалар қандай материаллардан тайёрланиши мумкин? Қурилманинг асосий афзаллиги нимадан иборат?
- 8.12. Айланиб юрвчи насадкали скрубберлар. Уларнинг асосий характеристикалари.
- 8.13. Газларни фильтрлаш йули билан тозалашнинг моҳияти. Фильтрловчи тўсиқ сифатида қандай материаллар ишлатилади? Энгли фильтرنинг тузилиши.
- 8.14. Донадор қатламли фильтрларнинг асосий турлари. Уларнинг асосий афзаллиги ва камчилиги нимадан иборат?
- 8.15. Электрофильтрнинг ишлаш принципи. Нима учун электрофильтрлар икки турга бўлинади? Улар қандай шароитларда ишлатилади? Бундай фильтрларни ҳисоблаш мумкинми?
- 8.16. Саноатда неча боскичли тозалаш қурилмалари ишлатилади? Чанг тутгични танлаш принципи нималардан иборат?
- 8.17. Газларни тозалайдиган қурилмаларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?
- 8.18. Чангларни қурилмадан тушириш ва уларни узатиш учун қандай қурилмалар ишлатилади?