

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ**

**«ОЗИҚ- ОВҚАТ ТЕХНОЛОГИЯСИ»  
кафедраси**

**Озиқ-овқат инжиниринги жараёнлари ва  
қурилмалари  
фанидан**

**МАЪРУЗАЛАР МАТНИ**

**I - қисм**

**ФАРҒОНА – 2019**

## Аннотация

«Озиқ-овқат инжиниринги жараёнлари ва қурилмалари» фанидан “Озиқ-овқат технологияси” бакалавр йўналиши бўйича тузилган ушбу марузalar матни ўз ичига гидромеханик, иссиқлик ва масса алмашув жараёнларининг назарияси, ушбу жараёнларни амалга оширадиган қурилмаларнинг тузилиши, ишлаш принциплари ва уларни ҳисоблаш услублари каби мавзуларни ўз ичига олган.

Марузalar матнини тузишда курснинг бошқа фундаментал, умумназарий, умуммуҳандислик ва мутахассислик фанлари билан узвий боғлиқлиги, кетма-кетлиги ва қайта такомиллаштирилганлиги, шунингдек ҳозирда мавжуд технологик жараёнларни жадаллаштириш масалалари инобатга олинган.

ФарПИИ услубий кенгашида тасдиқланган баённома № \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 йил

Муаллиф:

“ООТ” кафедраси доценти,  
т.ф.н. Усманов Б.С.  
катта ўқитувчи Обидов З.

Такризчилар:

Кимёвий технология кафедраси мудири  
т.ф.н. Раҳмонов О.К.

# 1 – Маъруза

## Мавзу: Фанга кириш

### Режа:

1. Фанининг предмет ва вазифалари.
2. Жараёнлар турлари ва қонунлари.
3. Гидромеханик жараёнлар.
4. Ўхшашлик назариясининг асослари.

*Таянч сўзлар ва иборалар: фаннинг мақсади, аҳамияти, ривожланиши, жараёнлар турлари, гидромеханик, иссиқлик, модда алмашилиши, кимёвий, механик, моддий баланс, иссиқлик баланси, мувозанат, ўлчов бирликлари.*

### Фанининг предмет ва вазифалари

Озиқ-овқат саноати корхоналарида турли технологик жараёнлар амалга оширилади. Бу жараёнлар давомида хом-ашё ва материалларнинг ички структураси, 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 буғлатиш, ҳўл материалларни қуриштириш ва бошқалар. Демак, турли кимёвий материаллар ва маҳсулотлар (кислоталар, ишқорлар, тузлар, минерал ўғитлар, лак-буёқ, полимер ва синтетик материаллар) 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 ва озиқ-овқат технологиясининг турли тармоқлари учун умумий бўлган жараён ва қурилмалар **асосий жараёнлар ва қурилмалар** деб юритилади. Масалан, суюқлик аралашмаларини ажратишда кенг ишлатиладиган ҳайдаш жараёнини кўрамиз. Ҳайдаш жараёни кислород ишлаб чиқаришда суюқ ҳавони ажратиш, нитрат кислота ишлаб чиқаришда сув ва нитрат кислотани ажратиш, синтетик каучўқ ишлаб чиқаришда мураккаб органик маҳсулотларни ажратиш ва бошқа бир қатор ишлаб чиқаришда кенг ишлатилади. Асосий қурилмалар қаторига, масалан, тарелкали ва насадкали колонналар киради. Бундай колонналар ёки қурилмалар ҳайдаш (суюқ аралашмаларни иссиқлик таъсирида ажратиш), абсорбциялаш (газ ва буғ аралашмаларидан бирор компонентни суюқликка юттириш), экстракциялаш (суюқ аралашмаларни эритувчи ёрдамида ажратиш) каби жараёнларни амалга оширишда ишлатилади.

Озиқ-овқат саноатининг кўпчилик тармоқларида ишлатиладиган насос ва компрессорлар, фильтр ва центрифугалар, циклон ва скрубберлар, иссиқлик алмаштиргич ва қуриткичлар ва асосий қурилмалар жумласига киради.

«Жараён ва қурилмалар» курсида асосий жараёнларнинг назарияси, ушбу жараёнлар амалга ошириладиган машина ва қурилмаларнинг тузилиш принциплари ва уларни ҳисоблаш усуллари ўрганилади. Асосий жараёнларнинг қонуниятларини ўрганиш ва қурилмаларни ҳисоблаш усуллари тузишда физика, кимё, физик-кимё, термодинамика, иқтисодиёт каби фанларнинг фундаментал қонунлари асос қилиб олинади.

«Жараён ва қурилмалар» курси кимё саноатининг турли тармоқларида ишлатиладиган ва ташқи кўринишдан ҳар хил бўлган жараёнлар ва қурилмаларнинг ўхшашликларини аниқлашга асосланади. Замонавий катта масштабдаги ишлаб чиқариш жараёнларини лойиҳалашда ҳам «жараён 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 системаларда олинган натижалардан катта системаларда фойдаланиш қонуниятлари *моделлаштириш* деб юритилади. Моделлаштириш «жараён ва қурилмалар» фанининг муҳим вазифаларидан бири ҳисобланади. Бу фан асосида тегишли жараёнларни ҳисоблаш ва таҳлил қилиш, уларнинг оптимал параметрларини топиш, керакли қурилмаларни лойиҳалаш ва уларни ҳисоблаш мумкин. Ушбу курс машина ва қурилмаларни рационал ишлатиш ҳақида маълумот беради ҳамда уларнинг қувватини ошириш усуллари ўргатади.

«Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиш кимё саноатининг ривожланиши билан боғлиқ. Кимё саноати XVIII асрнинг охири ва XIX асрнинг бошларида пайдо бўла бошлади ва қисқа давр ичида ривожланган мамлакатларда халқ хўжалигининг муҳим тармоқларидан бирига айланди. Кимё саноатининг ривожланиши билан ишлаб чиқариш жараёнларини умумлаштирувчи ва қурилмаларнинг ҳисобини рационал ҳал қилувчи фанга эҳтиёж кучайди. Россияда «Жараён ва қурилмалар» фани ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб профессор В.А.Денисов 1828 йилда илгари сурди. Кейинчалик Д.И.Менделеев кимё технологияси асосий жараёнларининг классификациясини тузиб чиқди. XIX асрнинг 90-йиллари охирида профессор 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 юртида профессор 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 профессор А.Г.Касаткин томонидан «Кимё технологиясининг асосий жараён ва қурилмалари» дарслиги чоп этилди. Бу китоб ушбу фаннинг ривожланишида катта аҳамиятга эга бўлди. Сўнги 50-60 йиллар мобайнида жараён ва қурилмалар фани узлуксиз ривожланиб келмоқда. Янги кимё ишлаб чиқаришларини илмий асосда тузиб чиқишда, юқори унумли қурилмалар яратишда, технологик жараёнларни интенсивлашда ушбу фаннинг аҳамияти йилдан йилга ортиб бормоқда. Жараёнлар ва қурилмалар фанининг ривожланишида рус олимларидан А.Г. Касаткин, П.Г. Романков, А.Н. Плановский, В.Н. Стабников, Н.И. Гелрперин ва бошқаларнинг ҳиссаси катта.

Ўзбекистон Республикасида «Жараён ва қурилмалар» фанининг ривожланишида Тошкент кимё-технология институти қошидаги «Кимёвий технология жараёнлари ва қурилмалари» кафедрасининг ҳам ҳиссаси катта. Ушбу кафедрада кимё ва озиқ-овқат саноати ишлаб чиқариш жараёнларини интенсивлаш бўйича кенг қўламда илмий-тадқиқот ишлари муваффақиятли олиб борилмоқда. Кафедра ходимлари томонидан пахта чигитини ва уни қайта ишлаш натижасида ҳосил бўладиган материалларнинг гидромеханик, иссиқлик - физикавий ва диффузион хусусиятлари аниқланди, пахта чигити учун мавҳум қайнаш қатлами ва ўзгарувчан иссиқлик режимида ишлайдиган қуритгичлар таклиф этилди, ўсимлик ёғларини экстракциялашнинг механик (пулрсацион ва вибрацион) тебранишлар ва ўзгарувчан электромагнит майдон ёрдамида интенсивлаш, чигитни пневматик йўл билан узатиш ва тозалаш усуллари ишлаб чиқилди. Илмий ишларнинг асосий натижалари республикамизнинг бир қатор корхоналарига тадбиқ қилинди.

### **Жараёнлар турлари ва қонунлари**

Кимё саноатида ўрганиладиган асосий жараёнлар 5 та гуруҳга бўлинади:

1. Гидромеханик жараёнлар.
2. Иссиқлик жараёнлари.
3. Моддалар алмашинуви жараёнлари.
4. Кимёвий жараёнлар.
5. Механик жараёнлар.

1. Гидромеханик жараёнларда суюқлик ва газларнинг ҳаракати ўрганилади. Жараённинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан аниқланади. Суюқликларни бир жойдан иккинчи жойга узатиш, газларни сиқиш ва узатиш, турли жинсли газ ва суюқлик аралашмаларини ажратиш, суюқликларни аралаштириш гидромеханик жараёнларга киради.

2. Иссиқлик жараёнлари ҳароратлар фарқи мавжуд бўлганда бир (ҳарорати юқори) жисмдан иккинчи (ҳарорати паст) жисмга иссиқликнинг ўтишидир. Жараённинг тезлиги иссиқлик узатиш қонунлари билан ифодаланади. Бу гуруҳга иситиш, совитиш, буғлатиш, конденсациялаш ва сунъий совуқ ҳосил қилиш жараёнлари киради. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатига ҳам боғлиқ.

3. Моддалар алмашинуви жараёнлари бир ёки бир неча компонентларнинг бир фазадан, фазаларни ажратувчи юза орқали иккинчи фазага ўтишидир. Компонентлар бир фазадан иккинчи фазага молекуляр ва конвектив диффузиялар ёрдамида ўтади. Шу сабабли бу жараёнлар диффузион жараёнлар ҳам дейилади. Жараёнларнинг тезлиги фазаларнинг гидродинамик ҳаракатига боғлиқ бўлиб, моддалар алмашинув қонуниятлари билан ифодаланади. Бу гуруҳга абсорбцион, адсорбцион, экстракция, суюқликларни хайдаш, қуритиш ва кристаллизация жараёнлари киради.

4. Кимёвий жараёнлар - моддаларнинг ўзаро таъсири натижасида янги бирикмалар ҳосил бўлишидир. Кимёвий реакция вақтида, одатда, иссиқлик ва моддалар алмашинуви жараёнлари ҳам содир бўлади. Бу гуруҳдаги

жараёнларнинг тезлиги кимёвий қонуниятлар билан ифодаланади. Реакциянинг тезлиги, айниқса, саноат миқёсида, моддаларнинг гидромеханик ҳаракатига ҳам боғлиқ бўлади.

5. Қаттиқ моддаларни майдалаш, саралаш, узатиш ва аралаштириш механик жараёнлар жумласига киради. Бу жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисмларнинг механик қонуниятлари билан ифодаланади.

Кимё саноатидаги технологик жараёнлар даврий ва узлуксиз равишда ўтказилади. Жараёнлар вақт давомида параметрларнинг ўзгаришига қараб турғун ва нотурғун бўлади. Тезлик, концентрация, ҳарорат каби параметрлар вақт давомида ўзгарса жараён *нотурғун*, аксинча, агар бу параметрлар ўзгармаса жараён *турғун* дейилади.

### Жараённинг асосий қонунлари

**Модда ва энергиянинг сақланиш қонунлари.** Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари тезлиги физика, кимё ва физик-кимёнинг умумий қонунларига бўйсинади. Бу қонунларни маълум бир жараёнга тадбиқ 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 ўрин эгаллайди. Масалан, қурилмага жараёнда қатнашаётган А, В ва С компонентлар киритилмоқда. Ушбу компонентлар газ, буғ, суюқлик ёки қаттиқ ҳолатда бўлиши мумкин. Қурилмада рўй берган жараён натижасида ҳосил бўлган моддалар D ва E қурилмадан чиқади. Қурилмага кираётган моддаларнинг массавий йиғиндиси қурилмадан чиқаётган моддаларнинг массавий йиғиндисига тенг бўлиши керак. Шунга асосланиб қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E$$

Бу тенглама *моддий балансни* ифодалайди.

Қурилмага киритилаётган ёки чиқаётган модда ўзида маълум миқдорда энергия сақлайди. Қурилмага ташқаридан кўшимча энергия киритилиши мумкин. Жараён давомида энергиянинг маълум бир қисми атроф-муҳитга йўқотилади. Энергиянинг сақланиш қонунига асосан қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин.

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_K = Q_D + Q_E + Q_{\text{Й}}$$

бу ерда  $Q_A, Q_B, Q_C$  - А, В ва С компонентлар билан келаётган иссиқлик миқдори;  $Q_D, Q_E$  - D ва E компонентлар билан чиқиб кетаётган иссиқлик миқдори;  $Q_K$  - қурилмага ташқаридан келаётган иссиқлик миқдори;  $Q_{\text{Й}}$  - атроф-муҳитга йўқотилган иссиқлик миқдори. Бу тенглама *энергетик балансни* ифодалайди ва *иссиқлик балансини* билдиради.

Моддий ва иссиқлик баланси тенгламалари технология жараёнларини ўрганишда кўп ишлатилади.

## **Кимёвий қурилмалар яратиш ва тайёрлаш**

Кимёвий технологияда ишлатиладиган қурилмалар қатор талабларга жавоб бериши керак. Аввало, қурилмада маълум бир жараённи амалга ошириш учун қулай шарт-шароитлар мавжуд бўлиши зарур. Бу шароитлар жараённинг турига, қатнашаётган моддаларнинг агрегат ҳолатларига боғлиқ.

Қурилмани бошқариш катта жисмоний меҳнат талаб қилмаслиги керак. Қурилма ишини текшириш ва бошқаришни автоматлаштириш ишлаб чиқаришни бошқаришнинг олий мақсадидир.

Катта ўлчамли қурилмаларни лойиҳалашда уларни ташиш ҳам ҳисобга олинади. Қурилма, машина, асбоб-ускуналарни тайёрлаш материаллари коррозияга чидамли, энергия сарфи кичик, уни текшириш, тозалаш ва созлаш учун қулай ҳамда мустаҳкам бўлиши керак.

Кимёвий қурилмалар тайёрлашда ҳар хил навли пўлатлар, чўянлар, рангли металллар, қотишмалар, нометаллар ишлатилади.

Углеродли пўлатлар 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.

Таннархи ва никелр сарфини камайтириш учун қурилмаларни тайёрлашда тежамли - легирланган ва никелсиз пўлатлардан (08Х22Н6Т, 08Х12Н6М2Т, 08Х18Г82Т) фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Коррозияга барқарор ва танқис пўлатни тежаш усулларида бири – қурилмаларни тайёрлашда икки қатламли фойдаланишдир.

Бунда биринчи қатлам углеродли пўлатдан, иккинчи - химоя қилувчи қатлам эса коррозияга чидамли пўлатдан ёки 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 тайёрланади.

Рангли металллар (кўрғошин, мис, алюминий, никелр) пайвандлаш, қалайли, ва қуйма усуллар билан тайёрланадиган, ўртача ва юқори агрессив шароитларда ишлайдиган қурилмалар тайёрлашда ишлатилади.

Коррозион муҳитда ишлайдиган бир қатор кимёвий қурилмаларни ишлаб чиқаришда нометалл материаллардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Бундай материаллар қаторига пластмассалар (винипласт, фаолит, фторпласт), шишали пластиклар, кўмир графитли материал, керамика, композицион материаллар киради.

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.

### Физик катталикларнинг ўлчов тизимлари

Ҳар қандай жараён ва қурилмаларни ҳисоблашда моддаларнинг физик хусусиятларини (*зичлик, солиштирма оғирлик, қовушқоқлик* ва бошқалар) ва модда ҳолатининг ҳаракатини ҳарактерловчи параметрларни (*тезлик, босим, ҳарорат* ва бошқалар) билиш керак.

Технологик жараёнларни ўрганишда турли ўлчов бирликларидан фойдаланиш ҳисоблаш ишларини қийинлаштиради ҳисоблаш ишларини қийинлаштиради ва қўпол хатоликларга олиб келади.

Республикамизда ва бир қанча чет давлатларда ўлчов бирлигининг ягона системаси сифатида 1980 йилнинг январидан бошлаб универсал Ҳалқаро бирликлар системаси (СИ) қабул қилинди.

Бу системада еттита асосий катталиклар, иккита қўшимча, анчагина ҳосилавий катталиклар ва уларга мос равишда ҳосилавий бирликлар бор.

Асосий катталиклар ва бирликлар қуйидагилар:

узунлик бирлиги - метр (м), масса бирлиги - килограмм (кг), вақт бирлиги - секунд (с), электр ток кучи бирлиги - ампер (а), термодинамик ҳарорат бирлиги - кельвин (к), ёруғлик бирлиги - кандела (кд), модда миқдори бирлиги - моль (моль).

Бирликларнинг дастлабки номига икки ва ундан ортиқ олд қўшимча қўшиш мумкин эмас. Масалан, микромикрофарад, яъни «фараднинг миллиондан бир улушидан миллиондан бир улуши» ибораси ўрнига пикофарад (пФ) ни ишлатиш лозим.

#### Олд қўшимчали бирликлар

Тера (Т)	$10^{12}$	Сант (с)	$10^{-2}$
Гига (Г)	$10^9$	Милли (м)	$10^{-4}$
Мега (М)	$10^6$	Микро (мк)	$10^{-6}$
Қило (К)	$10^3$	Нано (н)	$10^{-9}$
Деци (д)	$10^{-1}$	Пико (п)	$10^{-12}$

Жадвалда эса СИ бирликлари билан айрим эскирган бирликлар ўртасидаги нисбатларга мисоллар келтирилган.

#### Ўлчов бирликлари ўртасидаги нисбатлар

Катталиклар номи	СИ га биноан бирлиги	СИ бирликларига ўтказиш коэффициентлари
Ҳарорат	К	$T = (t + 273,15)$
Динамик қовушқоқлик	Па·с	1 Пуаз = $10^{-8}$ Па·с 1 сП = $10^3$ Па·с

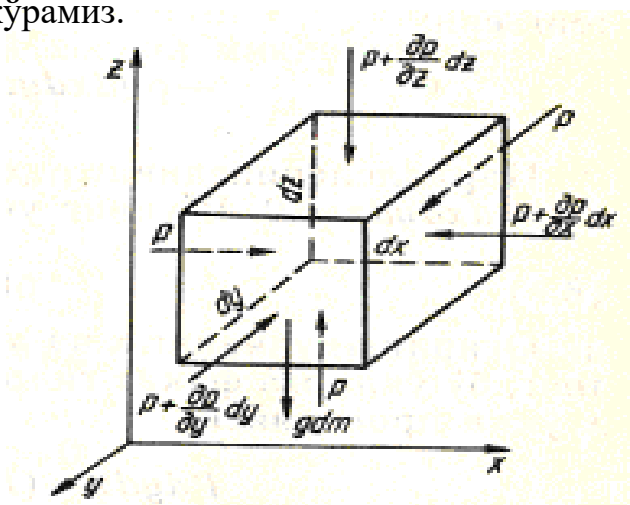


Кинематик қовушқоқлик	м <sup>2</sup> /с	1 ст (Стокс) = 10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup> /с
Босим	Па	1 кгк/см <sup>2</sup> = 1 атм = 9,81·10 <sup>4</sup> Па = = 735 мм симоб устуни 1 кгк/м <sup>2</sup> = 9,81 Па 1 атм = 1,033 кгк/м <sup>2</sup> = 1,011·10 <sup>4</sup> Па = 760 мм сим устуни = 10,33 м сув устуни 1 бар = 10 <sup>5</sup> Па
Ҳажм	м <sup>3</sup>	1 л = 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup> = 1 дм <sup>3</sup>
Зичлик	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>
Ҳажмий сарф	м <sup>3</sup> /с	1 л/мин = 16,67·10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с
Солиштирма иссиқлик сифими	Ж/кг·К	1 ккал/кг·°С = 4,19 кЖ/кг·К
Иссиқлик бериш, ўтказиш коэффициентлари	Вт/м <sup>2</sup> ·К	1 ккал/м <sup>2</sup> ·соат·°С = 1,163 Вт/м <sup>2</sup> ·К
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	Вт/м·К	1 ккал/м·соат·°С = 1,163 Вт/м·К
Солиштирма энталрпия	Ж/кг	1 ккал/кг = 1 кал/г = 4,19 кЖ/кг
Солиштирма оғирлик	Н/м <sup>3</sup>	1 кгк/м = 1,163 Н/м <sup>3</sup>

### 3. Гидромеханик жараёнлар

#### Суюқлик мувозанат ҳолатининг Эйлер дифференциал тенгламаси

Бирор идишда тинч турган суюқликка оғирлик ва босим кучлари таъсир қилади. Бу кучларнинг ўзаро таъсирининг суюқ ичида (таъсирланиши) тақсимланиши Эйлер томонидан ишлаб чиқилган дифференциал тенглама билан ифодаланади. Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун идишдаги суюқлик ҳажмидан кичкина параллелепед системасида унга таъсир қилаётган кучларни кўрамиз.



Параллелепеднинг ҳажмини  $dV$ , унинг  $x, y$  ва  $z$  координаталар ўқиға параллел йўналган қирраларини  $dx, dy, dz$  билан белгилаймиз. Параллелепедга таъсир қилаётган оғирлик кучи масса  $m$  билан эркин тушиш тезланиши  $g$  нинг кўпайтмасига тенг, яъни  $gdm$  Гидростатик босимнинг кучлари эса, гидростатик

босимнинг шу қирралар юзаси кўпайтмасига тенг бўлиб, унинг қиймати координаталар ўқларига боғлиқ:

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

Статиканинг асосий қондасига мувофиқ, тинч ҳолатда турган кичкина хажмга таъсир қилаётган барча кучларнинг координаталар ўқларига нисбатан олинган проекцияларининг йиғиндиси, нолга тенг, акс ҳолда суяқлик ҳаракатда бўлар эди. Кучлар йиғиндисини  $z$  ўққа нисбатан проекциялаймиз. Оғирлик кучи  $z$  ўққа параллел ва унга қарама-қарши томонга йўналган, шунинг учун бу куч  $z$  ўққа манфий (-) ишора билан проекцияланади:

$$-gdm = -gpdv = -pgdx dy dz$$

Параллелепипеднинг хажми:  $dV = dx dy dz$

Параллелепипеднинг пастки қиррасига гидростатик босим нормал бўйича таъсир қилади. Агар  $z$  ўқ бўйича бирор нуқтадаги гидростатик босимнинг ўзгариши  $dp/dz$  бўлса,  $dz$  қирранинг узунлигида бу босим  $dp/dz * dz$  га тенг бўлади.

Бунда қарама - қарши (юқориги) қиррадаги гидростатик босим  $(P + dp/dz dz)$  га тенг ва унинг  $z$  ўқ бўйича проекцияси:

$$-(P + dp/dz dz) dx dy$$

$z$  ўққа тенг таъсир этувчи босим кучларининг проекцияси:

$$P dx dy - (P + dp/dz dz) dx dy = - dp/dz dx dy dz$$

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

$$- pg dx dy dz - dp/dz dx dy dz = 0$$

Параллелепипеднинг хажми ҳеч қачон нолга тенг эмас, яъни  $dV = dx dy dz = 0$   
Шунинг учун,

$$- pg - dp/dz = 0$$

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

$$P dy dz - (P + dp/dz dx) dy dz = 0$$

Қавсни очиб, тегишли қисқартириш ишларини бажарсак:

$$\left. \begin{aligned} & - dp/dz dx dy dz \\ & - dp/dz = 0 \end{aligned} \right\}$$

Худди шунингдек  $y$  ўқ учун:

$$\left. \begin{aligned} & - dp/dy dx dy dz \end{aligned} \right\}$$

$$- \partial p / \partial y = 0$$

Шундай қилиб, кичкина параллелепипеднинг мувозанат шарти қуйидаги тенгламалар системаси билан ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} - \partial p / \partial z &= 0 \\ - \partial p / \partial y &= 0 \\ - \rho g - \partial p / \partial z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Бу тенгламалар системаси Эйлернинг мувозанат ҳолатининг **дифференциал тенгламаси** дейилади. Суюқликнинг исталган нуқтасидаги гидростатик ва оғирлик кучини аниқлаш учун бу тенгламалар системасини интеграллаш керак.

Тенгламаларнинг интерралли гидростатиканинг асосий тенгламаси бўлиб, муҳандислик ҳисоблаш ишларида кенг қўлланилади.

### Гидростатиканинг асосий тенгламаси

Юқоридаги тенгламалар системасидан кўриниб турибдики, тинч турган суюқликнинг исталган нуқтасидаги босимнинг  $x$  ва  $y$  ўқлар бўйича ўзгариши нолга тенг бўлиб, босим вертикал  $z$  ўқ бўйича ўзгаради.

Шунинг учун  $\partial p / \partial z$  хусусий ҳосила миқдорини  $\partial p / \partial z$  билан алмаштирамиз, у ҳолда:

$$- \rho g - \partial p / \partial z = 0$$

Бундан

$$- dp - \rho g dz = 0$$

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

$$dz + (1/\rho g) dp = 0$$

Бир жинсли анча сиқилмайдиган суюқликларнинг зичлиги ўзгармас бўлгани учун

$$dz + d(P/\rho g) = 0 \quad \text{ёки} \quad d(z + P/\rho g) = 0$$

Бу тенгламани интеграллаймиз, у ҳолда:

$$Z + P/\rho g = \text{const}$$

Бу тенглама **гидростатиканинг асосий тенгламаси** дейилади.

Тенгламада  $Z$  - ихтиёрий горизонтал текисликка нисбатан олинган нуқтанинг баландлиги ёки геометрик напор,  $P/\rho g$  - статик ёки поезомертик напор.

Гидростатиканинг асосий тенгламасига кўра, тинч турган суюқликнинг ҳар қандай нуқтасида нивелир баландлик ва статик босим кучларининг йиғиндиси ўзгармас миқдорга тенг. Умумий ҳолда тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$P = P_0 + \rho g z$$

$P_0$  - тинч турган суюқлик сиртига таъсир қилаётган атмосфера босими. Ҳар қайси нуқтадаги гидростатик босимнинг катталиги суюқлик устунининг баландлигига боғлиқ.

#### 4. Ўшашлик теоремалари ва мезонлари

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

Лаборатория ва синов қурилмаларида олинган натижани солиштириш учун улар ўрганилаётган 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 ўрганилаётган барча жараёнлар учун керакли ҳисоблаш тенгламаларини келтириб чиқариш ва уларни математик йўл билан ифодалаш қийин. Баъзи технология жараёнлари физика ва кимё қонунлари асосида дифференциал тенгламалар орқали ифодаланади. Дифференциал тенгламалар ўхшашлик назариясидан фойдаланиб ечилса, аналитик тенгламалар келиб чиқади. Бу аналитик тенгламалар технология жараёни учун зарур бўлган факторларни ўзаро боғлайди ва муҳандислик ҳисоблаш ишларида кўп ишлатилади.

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

Ўхшаш жараёнларда бу жараёнларни ифодаловчи ва ўхшаш бўлган катталиклар нисбати ўзгармас бўлади. Ўхшашлик назариясининг назарий ва амалий аҳамияти катта. Ўхшашлик назарияси тажриба ўтказиш ва тажриба натижаларини қайси йўл билан қайта ишлаш кераклигини ўргатади.

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

Агар системада жисмлар тинч ҳолатда турган бўлса, геометрик бир хилликка асосан икки ўхшаш жисмнинг геометрик ўлчов катталиклари ўзаро параллел бўлиб уларнинг нисбати ўзгармас бўлади.

Геометрик ўхшашлик бўлганда вақт бўйича бир хиллик ҳосил бўлади. Физик катталиклар бирлигига асосан, фазода жойлашган икки система физик хоссаларининг ўзаро нисбати вақт бирлигида ўзгармас бўлади.

Ўхшаш фазода жойлашган жисмларнинг физик ва вақт бўйича бир хилликка эга бўлиши учун уларнинг бошланғич ва чегара шартлари бир хил бўлиши керак. Ўхшашлик назарияси ҳақидаги фикрни биринчи бўлиб 1686 йили И.Ньютон таклиф этган. Кейинчалик бу назарияни В.Л.Кирпичёв, В.Нуссельт, М.В.Кирпичёв, А.А.Гухман ва бошқа олимлар ривожлантирган.

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

$$\mathbf{N}e = \mathbf{f} \tau / m w \quad (1.1)$$

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

Учинчи теорема М.В.Кирпичёв ва А.А.Гухман томонидан аниқланган. Бу теоремага асосан, сон жиҳатдан тенг аниқловчи мезонларга эга бўлган ҳодисалар ўхшаш ҳисобланади.

**Ўхшашлик мезонлари.** Жараёнларни ҳисоблашда бир катор ўхшашлик мезонларидан фойдаланилади. Ўхшашлик мезонлари ўлчамсиз бўлиб, текшириляётган жараённи ҳарактерлайдиган 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 на бошқа мезонлар киради. Рейнольдс мезони:

$$\mathbf{Re} = \frac{wd\rho}{\mu} \quad (1.2)$$

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

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

*Эйлер мезони:*

$$\mathbf{Eu} = \frac{\Delta P}{\rho w^2} \quad (1.3)$$

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

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги суюқликнинг гидростатик босими на инерция кучлари орасидаги ўзаро боғланишни ва трубаларда суюқлик ҳаракат қилганда ўлчамсиз босимнинг йўқолишини ифодалайди.

*Фруд мезони:*

$$Fr = \frac{w^2}{gl} \quad (1.4)$$

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

Фруд мезони оғирлик кучи таъсирини ҳарактерлайди на ўхшаш оқимлардаги инерция кучининг оғирлик кучига нисбатини ифодалайди.

*Галилей мезони:*

$$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2} \quad (1.5)$$

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

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги ишқаланиш кучларининг оғирлик кучларига нисбатини белгилайди.

*Гомохрон мезони:*

$$No = \frac{\omega\tau}{l} \quad (1.6)$$

бу ерда  $\tau$ -вақт, с.

Гомохрон мезони ўхшаш оқимлардаги ҳаракатнинг туррунмаслигини аниқлайди.

*Архимед мезони:*

$$Ar = \frac{gl^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} \quad (1.7)$$

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, Грасгофф, Кутателадзе ва бошқа мезонлар киради.

*Нуссельт мезони:*

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad (1.8)$$

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

Нуссельт мезони ўхшаш оқимларнинг чегара қатламидаги иссиқлик бериш тезлиги ва ҳарорат майдони ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

*Фурье мезони:*

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2} \quad (1.9)$$

бу ерда  $a$ —ҳарорат ўтказувчанлик коэффициентини,  $m^2/s$ .

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

*Пекле мезони:*

$$Pe = \frac{\omega \cdot l}{a} \quad (1.10)$$

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 ҳарактерлайди.

*Прандтл мезони:*

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c\mu}{\lambda} \quad (1.11)$$

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

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

*Био мезони:*

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l_k}{\lambda_k} \quad (1.12)$$

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

Био мезони ички ва ташқи термик қаршилиқларнинг нисбатини, қаттиқ жисм ичидаги ҳарорат 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.

*Грасгофф мезони:*

$$Gr = \frac{g l^3}{\nu^2} \beta \Delta t, \quad (1.13)$$

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

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

*Кутателадзе мезони:*

$$Ku = \frac{r}{c \cdot \Delta t} \quad (1.14)$$

бу ерда  $r$ —фаза ўзгариш иссиқлиги (масалан, буғнинг конденсацияланиши вақтида ажралган иссиқлик миқдори), Ж/кг;  $c$ —суюқликнинг (масалан, конденсатнинг) иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К);  $\Delta t$ - конденсат юпка қатлами ва девор устисидаги ҳароратлар фарқи, К.

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

Учинчи гуруҳга, яъни диффузион ўхшашлик мезонлари қаторига Нуссельт, Прандтл, Фурье, Био, Пекле мезонлари киради;

$$Nu' = \frac{\beta l}{D} \quad (1.15)$$

$$Pr' = \frac{\nu}{D} \quad (1.16)$$

$$Fo' = \frac{\tau D}{l^2} \quad (1.17)$$

$$Bi' = \frac{\beta l_k}{D_k} \quad (1.18)$$

$$Pe' = \frac{\omega l}{D} \quad (1.19)$$

бу ерда  $\beta$ - модда бериш коэффиценти, м/с;  $D$ - диффузия коэффиценти м<sup>2</sup>/с;  $D_k$ - қаттиқ жисмдаги диффузия коэффиценти, м<sup>2</sup>/с

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

### Назорат саволлари

1. Физик - кимёвий жараёнлар қандай жараёнлардан иборат?
2. ”Жараёнлар ва қурилмалар “ фани нимани ўргатади?
3. Асосий жараёнлар қандай жараёнларга бўлинади?
4. Модда ва энергиянинг сақланиш қонунларини тушунтиринг.
5. Системанинг мувозанат қонунини тушунтиринг.
6. Кимёвий қурилмаларни тайёрлашда қандай навли пўлатлар ишлатилади?
7. Углеродли пўлатлар неча турга бўлинади?
8. Суюқликнинг мувозанат ҳолати қайси дифференциал тенглама билан ифодаланади?
9. Гидростатиканинг асосий тенгламасини ифодаланг.
10. Ўхшашлик теоремаларини тушунтириб беринг?
11. Ўхшашлик мезонлари мазмунини тушунтириб беринг?



## 2 - Маъруза

### Мавзу: Гидродинамика. Асосий тушунчалар

#### Режа:

1. Суюқлик ҳаракатини тавсифловчи катталиклар.
2. Суюқлик сарфи, массавий ва хажмий сарф, тезлик.
3. Оқим ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси.
4. Бернулли тенгламаси.

*Таянч сўзлар ва иборалар: гидравлика, гидростатика, гидродинамика, суюқлик, зичлик, оғирлик, қовушқоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сизими, ҳарорат ўтказувчанлик, босим, оғирлик, босим, параллелепипед, тенглама, Эйлер, мувозанат, координата, ньютон, ноньютон.*

#### Суюқликлар ҳаракатини тавсифловчи катталиклар

Кимё саноатининг барча тармоқларида суюқлик ва газларни узатиш, суюқликларни аралаштириш, ҳар хил жинсли газ ва газларни узатиш, суюқлик аралашмаларини ажратиш каби жараёнлар кўп учрайди. Бу жараёнларнинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан ифодаланади. Гидромеханика қонунларини ва улардан амалда фойдаланиш усулларини гидравлика ўрганади. Гидравлика икки асосий қисмдан: суюқликларнинг мувозанат қонунларини ўрганадиган *гидростатика* ва суюқликларнинг ҳаракат қонунларини ўрганадиган *гидродинамикадан* ташкил топган.

Суюқликлар оқувчанлик хусусиятига эга. Суюқлик гуё маълум хажмга эга, лекин шаклга эга эмас (қандай идишга солинса, ўша идиш шаклини олади), аммо суюқ масса ташки 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 қовушқоқлиги кичик бўлиб, суюқликларникига яқинлашади; 3) критик ҳароратдан юқори ҳароратда суюқликлар билан газлар орасидаги фарк 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.

*Идеал суюқлик* деб, босим ва ҳарорат таъсирида ўз хажмини ўзгартирмайдиган ёки сиқилмайдиган, ўзгармас зичликка эга бўлган ва ички

ишқаланиши (қовушқоқлиги) бўлмаган суюқликларга айтилади. Аслида эса, ҳар қандай суюқлик босим ёки ҳарорат таъсирида ўз хажмини ўзгартиради. Ҳар қандай суюқликда ички ишқаланиш кучлари ва қовушқоқлик бўлади.

Демак, ҳақиқатда табиатда идеал суюқлик бўлмайди, яъни барча суюқликлар реал суюқликдир.

Аммо баъзи суюқликларнинг қовушқоқлиги жуда кичик бўлади. Улар ҳарорат ва босим таъсирида ўз хажмини шу қадар кам ўзгартирадики, бу ўзгаришни амалда ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Бундай тушунча реал суюқлик қонунлари ўрганишини осонлаштиради. Эластик суюқликларнинг хажми ҳарорат ва босим таъсирида кескин ўзгаради.

Суюқликнинг ҳаракати **тезлик, сарф, босим** ва бошқа катталиклар билан ҳарактерланади.

Суюқликнинг тезлиги ва сарфи оқимни кундаланг кесими буйлаб оқаётган суюқлик миқдорини вақтга нисбати **суюқлик сарфи** дейилади. У иккига бўлинади: хажмий сарф  $m^3/c$ ,  $m^3/соат$  ва массавий сарф  $кг/с$ ,  $кг/соат$ .

Ҳар хил нуқталарда суюқликлар оқимининг тезлиги ҳар хил. Шунинг учун ҳисобларда ўртача тезликни кўпроқ қўлланилади. Бу тезлик хажмий сарфни оқимнинг кундаланг кесим юзасига нисбати билан аниқланади:

$$\omega = V/S \quad \text{ёки} \quad V = \omega S$$

Массавий сарф қуйидагича аниқланади:  $M = \rho \omega S$

$\rho \omega$  - бу катталик суюқликнинг массавий тезлиги ҳисобланади,  $кг/м^2.с$ .

### Суюқликларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш

Кимё ва озиқ-овқат саноатида суюқликларнинг тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дроссель асбоблар ва пневматик трубалар кенг ишлатилади. Очик оқимда суюқликнинг тезлиги Пито найчаси билан ўлчанади, у кичик диаметр букилган най, ҳаракатланаётган суюқлик оқими йўналишига очик учи қарама-қарши қилиб ўрнатилади ва найнинг ўқи оқим йўналишида мос келади. Бунда найнинг вертикал қисмида суюқлик динамик босимга тенг бўлган  $h$  баландликка кўтарилади, яъни

$$h = w^2/2g$$

Бундан  $\omega = \sqrt{2gh}$ . Амалда оқим йўналишида найнинг бўлиши тезликнинг умумий тақсимланишига таъсир қилади, шунинг учун формулага тузатиш коэффициентлари киритилади:

$$\omega = \xi \sqrt{2gh}$$

Бу коэффициентнинг қиймати ҳар қайси най учун тажриба йўли билан топилади. Суюқликнинг миқдори секундли сарф тенгламаси орқали аниқланади:  $V = S \omega$

Оқим тезлиги ва сарфини ўрганиш унинг юқоридаги усуллар содда ва қулайдир, лекин пневматик трубаларни оқимларнинг ўқиға нисбатан ўрнатиш

жуда қийин. Шу сабабли саноатда оқим тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дрессель асбоблари ишлатилади.

Дрессель асбоблари сифатида ўлчовчи диафрагма, сопло, Вентури трубалари ишлатилади. Вентури трубасида ўлчовчи диафрагма ва соплога нисбатан босимнинг йўқотиши кам бўлади, чунки унинг диаметри аста-секин торайиб, сўнгра кенгайиб ўз ҳолига қайтади. Шунинг учун Вентури трубалари саноатда кўпроқ ишлайди.

**Гидравлик радиус ва эквивалент диаметр.** Кўндаланг кесим юза буйлаб ҳаракат қилаётган суюқлик учун *гидравлик радиус* ёки *эквивалент диаметр* деган катталиқ киритилади. Суюқлик оқиб ўтаётиб трубопровод ёки каналнинг эркин кўндаланг кесим юзасининг периметрга нисбати гидравлик радиус ҳисобланади.

$$R = S / \Pi$$

Юмалоқ турба унинг ички диаметри  $d$  бўлса,  $S = \Pi d^2 / 4$ , гидравлик радиус орқали ифодаланган диаметр эквивалент диаметр ҳисобланади:

$$d_3 = 4S / \Pi = d_T - d_n$$

3.1-жадвал. Оқим ўртача тезлигининг тахминий қиймати

т/р	Суюқлик номи	Тезлиги, w, м/с
1.	Қовушқоқлиги паст томчили суюқлик	<3 м/с
2.	Қовушқоқ суюқлик	<1 м/с
3.	Томчили суюқлик (ўзидан - ўзи оқиши)	0,2...1 м/с
4.	Томчили суюқлик (ҳайдаш трубасида)	1...3 м/с
5.	Газ (вентилятор ҳайдаш трубасида)	8...15 м/с
6.	Газ (босим остида)	15...25 м/с
7.	Тўйинган сув буғи	20...30 м/с
8.	Ўта қиздирилган сув буғи	30...50 м/с

### Суюқликларнинг асосий физик хоссалари

Суюқликларнинг асосий физик хоссалари зичлик, солиштирма оғирлик, қовушқоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, солиштирма иссиқлик сифими ва ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти ва бошқалар билан характерланади.

**Зичлик.** Хажм бирлигидаги бир жинсли жисмнинг (суюқликнинг) массаси зичлик деб аталади ва  $\rho$  билан белгиланади.

$$\rho = m/v \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

**Солиштирма оғирлик.** Хажм бирлигидаги суюқликнинг оғирлиги солиштирма оғирлик деб аталади ва  $\gamma$  билан белгиланади:

$$\gamma = G/v \quad (2.2)$$

Масса билан оғирлик қуйидагича боғланган:

$$m = G/g \quad (2.3)$$

Массанинг миқдорини тенгликка қўйсақ, зичлик билан солиштирма оғирликнинг ўзаро боғланиш нисбати келиб чиқади:

$$\gamma = \rho g \quad (2.4)$$

Томчили суюқликларнинг зичлиги ва солиштирма оғирлиги эластик суюқликларникидан бир неча марта катта бўлиб, босим ва ҳарорат таъсирида жуда кам ўзгаради.

Газларнинг зичлиги идеал газларнинг ҳолат тенгламасидан аниқланади:

$$PV = m/M PT \quad (2.5)$$

Тенгламадан зичлик қуйидаги ифодага тенг бўлади:

$$\rho = m/v = PM/PT \quad (2.6)$$

Зичлик катталигига тескари бўлган катталик *солиштирма хажм* деб аталади ва  $v$  билан ифодаланади:

$$v = v/m = 1/\rho = PT/PM = v/m \quad (2.7)$$

**Қовушқоқлик.** Реал суюқликлар труба ичида ҳаракатланганда, унинг ичида ички ишқаланиш кучлари ҳосил бўлиб, силжишига тўсқинлик қилади.

Суюқликни бир қатламдан иккинчи қатламга силжиши учун сарф бўлган куч *қовушқоқлик* (ёки ички ишқаланиш) дейилади. Ньютон қонунига биноан, суюқликнинг силжиши учун зарур бўлган куч шу қатламнинг юзасига, сурилиш тезлиги градиентига ва шу суюқликнинг қовушқоқлик коэффициентига тўғри пропорционал боғланган:

$$T = \mu F \frac{dw}{dn} \quad (2.8)$$

Тенгламадаги қовушқоқлик коэффициенти  $\mu$  *динамик қовушқоқлик коэффициентини* ёки қовушқоқлик дейилади. Қовушқоқлик суюқликларнинг физик хусусиятларига ва ҳароратига боғлиқ бўлиб, кенг интервалда ўзгаради.

Динамик қовушқоқлик СИ да Па·с бирлигида ўлчанади. Динамик қовушқоқлик коэффициентининг шу суюқлик зичлигига нисбати *кинематик қовушқоқлик* дейилади ва  $\nu$  билан белгиланади.

$$\nu = \mu/\rho \quad (2.9)$$

Кинематик қовушқоқлик СИ да  $m^2/c$  билан ўлчанади.

Баъзан нисбий қовушқоқлик тушунчаси ҳам ишлатилади. Бунда бирор суюқлик қовушқоқлигининг сувнинг қовушқоқлигига нисбати олинади. Ҳарорат ортиши билан суюқликларнинг қовушқоқлиги камаяди, газларда эса ортади. Суюқликларнинг қовушқоқлиги газларникига нисбатан бир неча марта каттадир.

**Иссиқлик ўтказувчанлик.** Ҳарорат градиенти таъсирида бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг тартибсиз ҳаракати натижасида

иссиқликнинг таркалиши иссиқлик ўтказувчанлик дейилади. Бир жинсли текис девор орқали утган иссиқлик оқими  $Q$  қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$Q = \lambda / \delta F \Delta t \quad (2.10)$$

бу ерда  $\lambda$  - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари;  $\delta$  - девор қалинлиги;  $F$  - иссиқлик ўтаётган юза;  $\Delta t$  - деворнинг иккала томонидаги ҳароратлар фарқи.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари СИ да Вт/м К бирлигида улчанади. Унинг қиймати ҳарорат, босим ва модданинг турига боғлиқ.

**Солиштирма иссиқлик сиғими.** Модданинг масса бирлиги ҳароратини бир градусга кўтариш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори солиштирма иссиқлик сиғими дейилади ва у қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$c = Q/m \Delta t \quad (2.11)$$

бу ерда  $Q$  - жисмни иситиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдори;  $m$  - жисм массаси;  $\Delta t$  - жараённинг охири ва бошланғич ҳароратлари ўртасидаги фарқ.

Солиштирма иссиқлик сиғими СИ да Ж/кг К бирлигида ўлчанади.

**Ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти.** Ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти жисмнинг иссиқлик инерцион хоссаларини ифодалайди. Бу коэффициент жисмни физик катталиги ҳисобланиб, ҳароратнинг ўзгариш тезлигини билдиради.

Ҳарорат ўтказувчанлик коэффициенти ( $\alpha$ , м<sup>2</sup>/с) қуйидаги нисбат орқали аниқланади:

$$\alpha = \lambda / c\rho \quad (2.12)$$

бу ерда  $\lambda$  - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти;  $\rho$  - зичлик;  $c$  - солиштирма иссиқлик сиғими.

Бу коэффициентнинг сон қиймати ҳарорат, зичлик, модданинг таркиби ва бошқа факторларга боғлиқ бўлади.

### Гидростатик босим

Сирт ва хажм кучларининг таъсирида суюқликнинг ичида гидростатик босим пайдо бўлади. Тинч турган суюқлик хажмидан 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:

$$P_{\text{ур}} = \frac{\Delta P}{\Delta F}. \quad (2.13)$$

Элементар юзанинг айрим нуқталаридаги ҳақиқий босим эса турлича (бир нуқтада кўпроқ, 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:

$$P = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}. \quad (2.14)$$

Босимнинг йўналиши ва таъсири суюқликнинг ҳамма нуқталарида бир хил, чунки бу куч ҳамма вақт нормал бўйича йўналган бўлади. Бундан кўринадикки, босимнинг катталиги юзанинг шаклига ва унинг қандай жойлашганлигига боғлиқ эмас. Босимнинг СИ системасидаги ўлчов бирлиги Н/м<sup>2</sup> ёки Па. Бу birlik жуда кичик бўлганлиги сабабли, йириклаштирилган birlikлар ишлатилади: килопаскаль ва мегапаскаль (кПа=10<sup>3</sup> Па; МПа=10<sup>6</sup> Па).

Амалиётда гидростатик босимнинг қиймати бошқа ўлчов birlikлари 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> паскалга тенг бўлган босим бир барни ташкил этади. Техник атмосфера (ат) физик атмосфера (атм) дан фарқ қилади. Физик атмосфера денгиз сатҳидаги стандарт атмосфера босими бўлиб 1,033 кгк/см<sup>2</sup> га тенг.

Паскаль ва бошқа birlikлар 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:

$$P_{\text{ман}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}} \quad (2.15)$$

$P_{\text{ман}}$  - манометр билан ўлчанадиган босим. 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:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}} \quad (2.16)$$

$P_{\text{вак}}$  - вакуумметр билан ўлчанадиган сийракланиш.  $P_{\text{вак}}$  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.

Босимнинг СИ системасидаги ўлчов birlikи Н/м<sup>2</sup> ёки Па. Бу birlik жуда кичик бўлганлиги сабабли, йириклаштирилган birlikлар ишлатилади: килопаскаль ва мегапаскаль (1кПа=10<sup>3</sup>Па; 1МПа=10<sup>6</sup> Па)

## Ньютон ва ноньютон суюқликлар

Ҳамма газлар ва кичик молекуляр массага эга кўпчилик суюқликларнинг умумлашган механик хоссаларини ньютоннинг ишқаланиш қонуни орқали ифодалаш мумкин. Бундай суюқликлар ньютон суюқликлари дейилади. Берилган ҳарорат ва босимдан ньютон суюқликларининг қовушқоқлиги ўзгармас қийматга эга бўлади.

Аммо баъзи суюқликлар (буёқ, паста, суспензиялар) анча мураккаб қовушқоқлик хоссаларига эга, бундай суюқликлар *ноньютон суюқликлар* дейилади. Ноньютон суюқликларда қовушқоқликнинг қиймати силжиш тезлигига ва унинг давомлилигига қараб ўзгаради.

Ньютоннинг ишқаланиш қонунини қуйидагига ёзиш мумкин:

$$T/F = \tau = \mu^*(dw/dn)$$

бу ерда  $\tau$  - силжиш кучланишлиги, Па

Бу тенгламадаги  $\tau$  нинг қиймати доимий мусбат бўлади.

Агар бир - бирига нисбатан ҳаракат қилувчи суюқлик қатламлари юзаси  $F$  га нормал ўтказиш пайтида унинг йўналишини тезлик камроқ томонга қараб олинса, у ҳолда тезлик градиентининг қиймати доимо манфий бўлади. Бундай ҳолатда тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\tau = - \mu (dw/dn)$$

Юқоридаги тенгламалар ньютоннинг ички ишқаланиш қонунини ифодалайди. Бу қонунга кўра, суюқликнинг оқиши пайтида унинг қатламлари ўртасида пайдо бўлган ички ишқаланиш кучланиш нормал бўйича олинган тезлик градиентига тўғри пропорционалдир.

$$\tau = - \mu (dw/dn)$$

боғлиқлигини график шаклда кўрсатиш мумкин. Бундай боғлиқлик *оқиш эгри чизиги* дейилади.

Бингам ёки пластик суюқликлар қаторига суспензиялар, хўл қум, лой, пасталар қиради. Силжиш кучланиши кичик қийматга эга бўлганда бундай суюқликлар оқмайди, фақат уларнинг шакли ўзгаради.

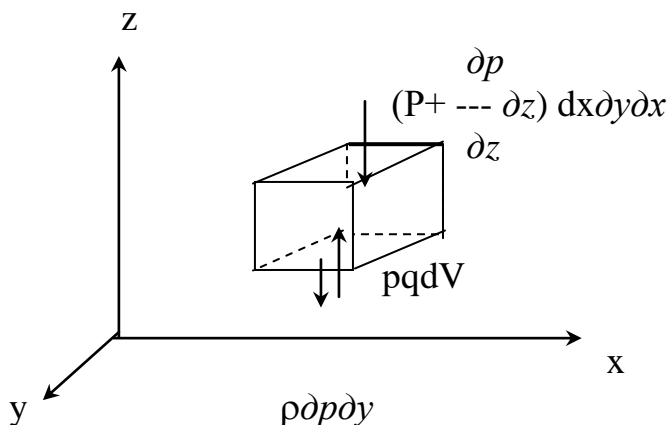
Мавҳум пластик суюқликлар (полимерларнинг эритмалари, целлюлозалар) силжиш кучланиш жуда кичик қийматга тенг бўлгандаёқ оқа бошлайди, бироқ уларнинг қовушқоқлик коэффициенти тезлик градиентининг ортиши билан камайиб боради.

Ноньютон суюқликлар қаторига тиксотроп ва реопектант суюқликлар ҳам қиради. Тиксотроп суюқликларда (вақт ўтиши давомида қовушқоқлиги ортиб борадиган буёқлар) маълум қийматдаги силжиш кучланишлигининг таъсир вақти ортиши муҳит таркибини бузилишига ва оқиш тезлигининг кўпайишига олиб келиши мумкин.

## Оқим ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси

Бу тенгламани келтириб чиқариш учун турғун ҳаракат қилаётган идеал суюқлик оқимидан элементар кичик заррачага ҳаракат пайтида тинч ҳолатда таъсир қилаётган кучларнинг тақсимланишини кўриб чиқамиз.

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



x ўқиға	-	$\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$	}
y ўқиға	-	$\frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$	
z ўқиға	-	$(\rho g + \frac{\partial p}{\partial z}) dx dy dz$	

Параллелепипед ҳажмидаги суюқлик массаси:  $dm = dx dy dz$  суюқлик  $x, y$  ва  $z$  ўқларда  $w_x, w_y$  ва  $w_z$  тезлик билан ҳаракатланса, унинг тезланиши  $dw/dt$  тенг бўлиб, ўқларга нисбатан тезланишнинг проекцияси эса  $dw_x/dt, dw_y/dt$  ва  $dw_z/dt$  бўлади.

Динамиканинг асосий қонунига асосан:

$\rho dx dy dz \frac{dw_x}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$	}
$\rho dx dy dz \frac{dw_y}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$	
$\rho dx dy dz \frac{dw_z}{d\tau} = - \left( \rho g + \frac{\partial p}{\partial z} \right) dx dy dz$	

Қисқартиришлардан сўнг қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз:

$\rho \frac{dw_x}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial x}$	}
$\rho \frac{dw_y}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial y}$	
$\rho \frac{dw_z}{d\tau} = - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z}$	



Бу тенгламалар турғун оқим учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгласидир.

### Ҳаракатнинг Навье-Стокс дифференциал тенгласи

Қовушқоқликка 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. Суюқликнинг  $x$  ўқи бўйича ҳаракатланишини кўрамиз. Агар параллелепипеднинг пастки қиррасида кучланиш уринмаси  $\tau$  га тенг бўлса, юқориги қиррасида эса  $(\tau + d\tau/dz)$  ни ташкил этади. Тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг  $x$  ўққа проекцияси:

$$\tau dx dy - (\tau + \partial\tau/\partial z) dx dy = - \partial\tau/\partial z dx dy dz$$

Ушбу ифодага  $\tau$  нинг қийматини кўямиз:

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

Уч ўлчамли оқим учун  $\omega_x$  тезликнинг таркиби фақат  $Z$  ўқи йўналиши бўйичагина эмас, балки координатанинг барча ўқлари бўйича ўзгаради ва қуйидаги кўринишни олади:

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

Координата ўқлари бўйича иккинчи ҳосилаларнинг йиғиндиси Лаплас оператори дейилади:

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

Натижада тенглама қуйидаги кўринишга келади :

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

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

$$Y \quad \text{ўқига} \quad \mu \nabla^2 \omega_y dx dy dz$$

$$Z \quad \text{ўқига} \quad \mu \nabla^2 \omega_z dx dy dz$$

Томчили суюқликнинг элементар хажмига таъсир қилувчи ҳамма кучлар тенг таъсир этувчиларининг координата ўқларига проекциялари:

$$X \quad \text{ўқига} \quad (-\partial p/\partial x + \mu \nabla^2 \omega_x) dx dy dz$$

$$Y \quad \text{ўқига} \quad (-\partial p/\partial y + \mu \nabla^2 \omega_y) dx dy dz$$

$$Z \quad \text{ўқига} \quad (-\rho g - \partial p/\partial z + \mu \nabla^2 \omega_z) dx dy dz$$

Тенг таъсир этувчи куч проекциясини массанинг тезланиш проекциясига кўпайтмасига тенглаб, сўнгра  $dx dy dz$  га қисқартириб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

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

Бу тенгламалар ҳақиқий суюқликлар ҳаракатини ифодалайдиган Навье-Стокс дифференциал тенгламаларини ташкил этади.

Тенгламалар тизими трубадан оқаётган ҳақиқий суюқликнинг турғун ҳаракатини ифодалайди.

### Бернулли тенгламаси

Бернулли тенгламаси суюқликлар ҳаракатини ўрганишда, насос ва компрессорларнинг умумий босимини топишда, суюқлик ҳамда газлар тезлиги ва сарфланиш миқдорини аниқлашда кенг қўлланилади. Бу тенглама Эйлернинг ҳаракат тенгламасидан топилади. Тенгламани унғ ва чап томонини  $dx$ ,  $dy$  ва  $dz$  га кўпайтириб ва суюқлик зичлиги  $\rho$  га бўлиб қуйидагини оламиз:

$$\frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} dx$$

$$\frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \cdot dy$$

$$\frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z = -\rho dz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \cdot dz$$

$\frac{dx}{d\tau}$ ,  $\frac{dy}{d\tau}$ ,  $\frac{dz}{d\tau}$  координата ўқидаги  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ ,  $\omega_z$  тезлик проекциясини беради ва тенгламани соддалаштириб қуйидагига эга бўламиз:

$$\omega_x d \omega_x = d\left(\frac{\omega_x^2}{2}\right), \quad \omega_y d \omega_y = d\left(\frac{\omega_y^2}{2}\right), \quad \omega_z d \omega_z = d\left(\frac{\omega_z^2}{2}\right)$$

$$\text{Бундан} \quad d\left(\frac{\omega^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - p d\tau$$

Тенгламани оғирлик кучига  $\rho g$  га бўлсак, у холда

$$d \cdot \left( \frac{w^2}{2g} \right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0$$

Бир жинсли, сиқилмайдиган суюқликлар учун  $\rho = \text{const}$ .

Тенгламадаги дифференциаллар йиғиндисини йиғиндилар дифференциали билан алмаштирилиши мумкин, яъни:

$$d\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right) = 0$$

бу ерда

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const}$$

Бу идеал суюқлик учун Бернулли тенгламаси ҳисобланади.

$$\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right) \text{ гидродинамик напор дейилади.}$$

бу ерда  $z$  - геометрик напор, яъни берилган нуқтадаги ҳолатнинг солиштирма потенциал энергияси;  $p/\rho g$  - статик (пъезометрик) напор, берилган нуқтадаги босимни солиштирма кинетик энергияси;  $w^2/2g$  - тезлик (динамик) напори, берилган нуқтадаги солиштирма кинетик энергияси.

Агар  $z$  ни  $h_r$ ,  $p/\rho g$  ни  $h_c$ ,  $w^2/2g$  ни эса  $h_p$  билан белгиласак, у ҳолда

$$h_r + h_c + h_p = H$$

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

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g}$$

Тенгламадаги учала босим ҳам узунлик ўлчамига эга бўлиб метр ҳисобида ифодаланади.

Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий курунишида бўлиб оқимнинг энергетик балансини белгилайди.

### Назорат саволлари

1. Техникавий гидравликанинг вазифаси нимадан иборат?
2. Суюқликларнинг асосий физик хоссаларини айтинг?
3. Гидростатик босим деб нимага айтилади?
4. Гидравлика неча қисмдан иборат?
5. Зичлик деб нимага айтилади, уни формуласини ёзинг?
6. Қовушқоқлик деб нимага айтилади?
7. Солиштирма иссиқлик сифими деб нимага айтилади?
8. Эйлернинг дифференциал тенгламасини ёзинг.
9. Навье-Стокс дифференциал тенгламасини ёзинг.
10. Бернулли тенгламасини ёзинг.
11. Суюқлик тезлиги ва сарфини қайси тенгламалар ёрдамида топилади?
12. Нютон ва нонютон суюқликларнинг асосий хусусиятларини айтинг.

### 3 - Маъруза

#### Мавзу: Гидродинамика. Гидравлик қаршиликлар.

##### Режа:

1. Йўқотилган напор. Гидравлик қаршиликлар.
2. Ишқаланиш ва маҳаллий қаршилик турлари.
3. Суюқликнинг оқиши. Суюқликда қаттиқ жисм ҳаракати.
4. Ҳаракат режимлари. Чўкиш тезлиги.

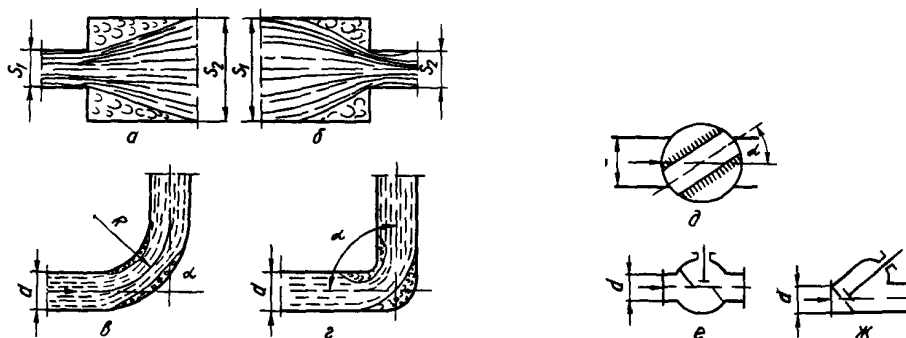
*Таянч сўзлар ва иборалар:* напор, ишқаланиш, маҳаллий, гидродинамик, тезлик, сарф, Рейнольдс, тажриба, ҳаракат режимлари, радиус, Пито, Вентури, суюқликнинг оқиши, чўкиш тезлиги, тенглама.

#### Йўқотилган напор. Гидравлик қаршиликлар

Реал суюқликлар ҳаракатланганда уларнинг гидравлик қаршиликлар ҳисоби гидродинамиканинг асосий масалаларидан бири ҳисобланади. Напорнинг йўқотилиши  $h_{\text{й}}$  ёки босимнинг йўқотилиши  $P_{\text{й}}$  ни аниқлашда энергияни сарфини ҳисоби ва суюқликларнинг аралашшига боғлиқ бўлади. Напорнинг йўқотилиши деганда умумий ҳолда ишқаланиш ва механик қаршилик йиғиндиси тушунилади.

*Ишқаланиш қаршилиги* - бу реал суюқликлар трубанинг узунлиги бўйлаб ҳаракат қилганда содир бўлади. Бу катталикларга суюқликларнинг ҳаракат режими, гидродинамик шароитлар, энергиянинг йўқотилиши, суюқликлар ҳаракати киради. Ички ишқаланиш кучининг катталиги суюқлик оқимининг режими (ламинар, турбулент, турбулентлик даражаси)га боғлиқ.

*Маҳаллий қаршилик* - оқим тезлигини йўналиши ўзгарганда ҳосил бўлади. Бунга қўйидагилар: трубага кириш ва чиқиш, кескин ва аста-секин торайган ва кенгайган қисмлар, тирсаклар, жўмрак, ёпувчи ва ростловчи ускуна (вентил, задвижка, тикинли кран) ва бошқалар киради (3.1- 3.2-расм).



3.1- 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 - тикинли кран; е - стандарт вентиль; ж - тўғри вентиль (эгилган шпиндель билан).

Труба қувурларида напор (ёки босим)нинг йўқотилишига ишқаланиш қаршилиги ва маҳаллий қаршиликлар сабабчи бўлади.

Трубадан ҳақиқий суюқлик ҳаракат қилганда, напорнинг йўқотилиши қуйидагига тенг бўлади:

$$h_{\text{уюк}} = h_{\text{ик}} + h_{\text{мк}}$$

бу ерда  $h_{\text{ик}}$  ва  $h_{\text{мк}}$  - ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун йўқотилган напор.

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, жумрак, торайган ҳамда кенгайган қисмлар ва ҳар хил тўсиқлар **маҳаллий қаршилик** дейилади. Труба ва каналларда ички ишқаланиш ва маҳаллий қаршилик учун йўқотилган босим Дарси-Вейсбах тенгламаси орқали аниқланади:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_2} \frac{\rho \omega^2}{2}$$

бу ерда  $\lambda$  - ички ишқаланиш коэффициенти;  $l$  - труба узунлиги, м;  $\omega$  - оқимнинг ўртача тезлиги, м/с;  $d_2$  - трубанинг эквивалент диаметри, м;  $\rho$  - суюқликнинг зичлиги, кг / м<sup>3</sup>.

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

$$\lambda = \frac{A}{\text{Re}}$$

бу ерда  $A$  - труба шаклини ҳисобга олувчи коэффициент: думалоқ трубалар учун  $A = 64$ , квадрат шаклдаги каналлар учун  $A = 57$ ;  $\text{Re}$  - Рейнольдс мезони.

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

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{1/4}}$$

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

Труба деворларидаги ғадир-будурликлар баландлигининг ( $\Delta$ ) трубанинг эквивалент диаметрига ( $d_2$ ) нисбати **нисбий ғадир-будурлик** дейилади ва  $\epsilon$  билан ифодаланади:

$$\epsilon = \frac{\Delta}{d_2}$$

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

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

Маҳаллий қаршиликлардаги босимнинг йўқотилиши қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$\Delta P_{\text{МК}} = \sum \xi_{\text{МК}} \frac{\rho w^2}{2}$$

бу ерда  $\xi_{\text{МК}}$  - маҳаллий қаршилик коэффиценти (3.1-жадвал) унинг қиймати тажриба йўли билан аниқланади.

3.1 – жадвал

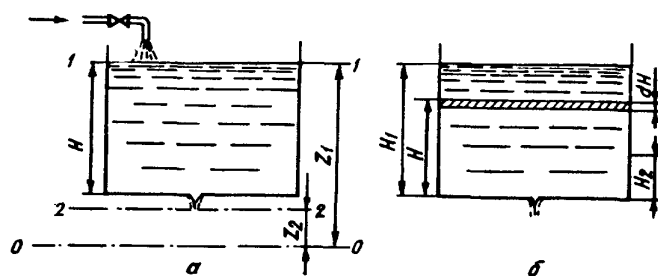
маҳаллий қаршилик тартиби	Маҳаллий қаршилик тури	Маҳаллий қаршилик коэффиценти, $\xi_{\text{МК}}$
1.	Трубага кириш	0,2...0,5
2.	Трубадан чиқиш	1,0
3.	90° га тўғри бурчак остида бурилиш $\alpha=90^\circ$ ли тирсак	0,15 1,1... 1,3
4.	Тиқинли кран:	
5.	Бутунлай очик $\alpha=20\dots$	0,05
6.	50° Стандарт вентиль $d_{\text{ш}}=20\text{мм}$	2 ... 95 8 4...6
7.	$d_{\text{ш}}=40\text{мм}$ ва ундан ортик Тўсатдан кенгайиш ( $Re>3500$ ): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,50 0,40 0,35 0,30 0,25 0,45
8.	Тўсатдан торайиш ( $Re>10^4$ ): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,40 0,35 0,30 0,25

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

$$\Delta p_{\text{йук}} = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{\text{МК}} \right) \frac{\rho w^2}{2}$$

### Суяқликларни оқиши

Идишдаги суяқликнинг пастки юпқ девордаги думалоқ тешик орқали оқиб тушгандаги сарфланиш миқдорини аниқлашни кўриб чиқамиз (3.2-расм, а).



3.2- расм. Идишнинг тешигидан суюқликнинг оқиб чиқиши.

а) ўзгармас баландликда, б) ўзгарувчан баландликда

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

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

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

$$w = \varphi \sqrt{2gH}.$$

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

$$\varepsilon = \frac{S_2}{S_0}.$$

бу ерда  $S_2$  - тешикдан ўтган суюқлик оқимининг сиқилган жойдаги кўндаланг кесими;  $S_0$  - тешикдан ўтаётган суюқлик оқимининг кўндаланг кесими.

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

$$\alpha = \varepsilon \varphi.$$

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

$$V = \alpha S_0 \sqrt{2gH} .$$

Бу тенгламадан кўриниб турибдики, идишдан тешик орқали оқиб чиқаётган суюқлик миқдори идишнинг шаклига боғлиқ бўлмасдан тешик катталиги ва суюқлик баландлигига боғлиқдир. Сув ва қовушқоқлиги сувнинг қовушқоқлигига яқин бўлган суюқликлар учун сарф коэффициенти  $\alpha = 0,62$ .

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

$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}}$$

Идишдан суюқлик тўла оқиб тушганда, яъни  $H_2 = 0$  бўлганда тенглама куйидагича бўлади:

$$\tau = \frac{2S\sqrt{H_1}}{\alpha S_0 \sqrt{2g}}$$

### Суюқликда қаттиқ жисм ҳаракати

Кимё ва озиқ-овқат технологияларида бир қатор жараёнлар қаттиқ жисмларнинг суюқлик ёки газларда ҳаракати билан боғлиқ. Бундай жараёнларга қаттиқ заррачаларни суспензия ва чанглардан оғирлик, инерцион кучлар таъсирида чўктириш ва суюқлик муҳитларида механик аралаштиришлар киради. Ушбу жараёнлар қонуниятларини ўрганиш гидродинамиканинг ташқи масаласидир.

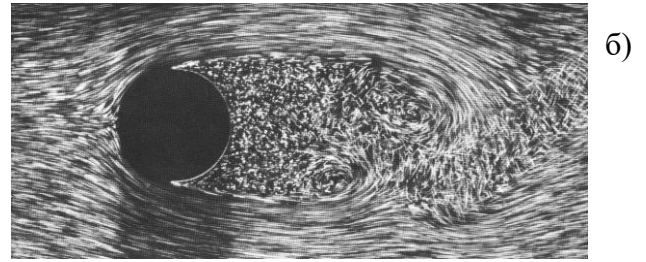
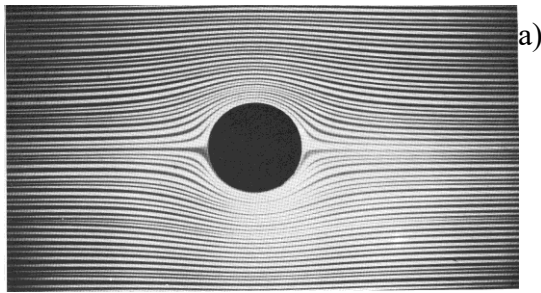
Жисмлар суюқликда ҳаракат қилган пайтида қаршиликлар ҳосил бўлади. Бу қаршиликларни енгиш ва жисмнинг текис ҳаракатини таъминлаш учун маълум миқдорда энергия сарфланиши керак. Ҳосил бўлаётган қаршиликлар асосан ҳаракат режими ва жисм шаклига боғлиқдир.

Ламинар режимда, яъни суюқлик қовушқоқлиги юқори ёки унинг тезлиги паст ва жисм ўлчамлари кичик бўлганда, жисм атрофида чегаравий қатлам ҳосил бўлади ва суюқлик текис, равон оқиб ўтади (3.3 а-расм).

Жисм ҳаракат тезлиги ортиши билан (турбулент режимда) инерция кучларининг аҳамияти ва роли ортиб боради. Бу кучлар таъсирида жисмни ўраб турган чегаравий қатлам узила бошлайди ва натижада ҳаракат қилаётган жисм орқа томонида босим пасаяди ва ушбу жойда тартибсиз, уюрмали оқимчалар ҳосил бўлади (3.3 б-расм).

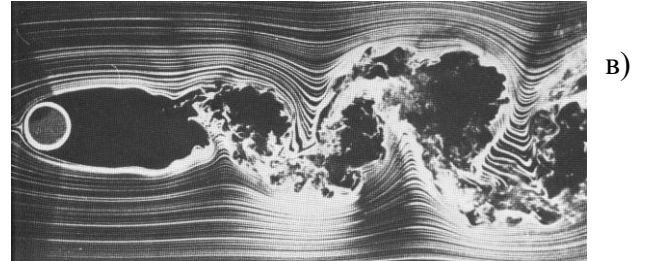
Жисмнинг суюқликда ҳаракати пайтида унинг олд ва орқа томонларидаги босимлар фарқи ўсиб боради ва ламинар режимдагидан анча катта бўлади. Рейнольдс критерийсининг маълум бир қийматидан бошлаб олд томонидаги қаршиликни ҳисобга олмаслик ҳам мумкин. Трубаларда суюқлик ҳаракати пайтидек, бундай ҳолларда автомодел режим бошланади.



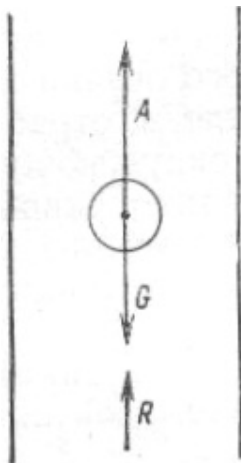


3.3–расм. Қаттиқ жисмнинг суюқликдаги харакати.

а - ламинар оқим;  
б, в – турбулент оқим.



3.4-расмда суюқликда чўкаётган шарсимон заррачага таъсир этувчи кучлар кўрсатилган.



3.4-расм. Чўкаётган заррачага таъсир этувчи кучлар.

Диаметри  $d$  ва зичлиги  $\rho_3$  бўлган заррачанинг оғирлик кучи  $G$  ва у пастга қараб йўналган бўлади:

$$G = \left( \frac{\pi d^3}{6} \right) \rho_3 g$$

Архимед қонунига биноан кўтарувчи куч  $A$  ушбу тенгламадан топилади:

$$A = \left( \frac{\pi d^3}{6} \right) \rho g$$

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

Заррача чўкишига сабабчи куч эса, қуйидагига тенг:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_3 - \rho) g$$

Чўкиш жараёнида қаттиқ жисмга суюқлик қаршилик кўрсатади. Ушбу қаршилик  $R$  қиймати муҳит қовушоқлиги  $\mu$ , зичлиги  $\rho$ , заррача кўндаланг кесим юзаси  $F$  ва шаклига боғлиқ.

Муҳит қаршилик кучи  $R$  Ньютон қонунига биноан ушбу тенгламадан топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho w_{\text{чўк}}^2}{2}$$

бу ерда  $\xi$  - муҳит қаршилик коэффициентини;  $w_{\text{чўк}}$  – жисм ҳаракат тезлиги, м/с.

Чўкиш жараёнини ўрганиш натижасида кўпчилик олимлар томонидан қуйидаги режимлар аниқланган ва уларни ифодаловчи формулалар тавсия этилган:

### 3.2 - жадвал

Суюқлик харакат режими	Рейнольдс сони	Архимед сони	Формула	Муҳитнинг қаршилиқ коэффициенти
Ламинар	$Re < 2$	$Ar < 36$	$Re = 0,056 \cdot Ar$	$\xi = \frac{24}{Re}$
Ўтиш	$Re = 2 \dots 500$	$Ar = (36 \dots 83) \cdot 10^3$	$Re = 0,15 \cdot Ar^{0,715}$	$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$
Турбулент	$Re > 500$	$Ar > 83 \cdot 10^3$	$Re = 1,74 \cdot Ar^{0,5}$	$\xi = 0,44 = const$

Шар шаклида бўлмаган жисмларнинг суюқликда ҳаракати пайтида муҳитнинг қаршилиги шарсимон шаклли жисмга нисбатан катта бўлиб, Рейнольдс сони ва шакл омилига боғлиқ бўлади, яъни:

$$\xi = f(Re, \Phi)$$

$$\Phi = \frac{F_w}{F}$$

бу ерда  $F$  - жисм юзаси;  $F_w$  - жисм ҳажмига тенг шарнинг юзаси.

Турли шаклдаги жисмларнинг  $\Phi$  коэффициенти қийматлари.

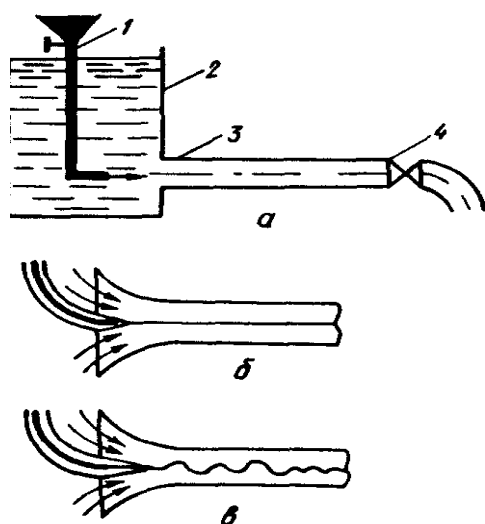
### 3.3- жадвал

Заррача шакли	Шар	Куб	Цилиндр ( $h=10 \cdot r$ )	Диск ( $h=0,1 \cdot r$ )
Коэффициент $\Phi$	1	0,806	0,69	0,32

Рейнольдс критерийсини ҳисоблашда шар шаклида бўлмаган жисмлар учун асосий чизиқли ўлчам сифатида шу жисм ҳажмига тенг эквивалент шарнинг диаметри қўлланилади.

Агар, жисмнинг ҳажми  $V$ , унинг массаси  $m$  ва зичлиги  $\rho$  бўлса, унда эквивалент диаметри  $d$  нинг қиймати ушбу тенгламадан топилиши мумкин:

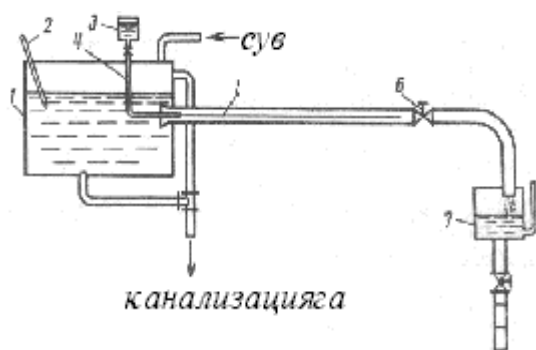
$$V = \frac{m}{\rho_3} = \frac{\pi d^3}{6}$$



3.5- расм.

**Суюқликларнинг ҳаракат режими.** Биринчи марта суюқликлар ҳаракатининг режимини 1883 й Рейнольдс томонидан ўрганилган (3.5 - расм). Идишда доимий сатх ушлаб турилади. Унча катта бўлмаган тезликда рангли суюқлик сувга аралашмасдан тўғри чизиқ бўйлаб ип шаклида ҳаракат қилади. Бундай ҳаракат **ламинар режим** дейилади.

Трубадаги сув оқими тезлиги оширилса рангли суюқлик труба бўйлаб тўлқинсимон ҳаракат қилиб сувнинг бутун массасига аралашиб кетади. Бундай ҳаракат **турбулент режим** дейилади.



3.6-расм. Рейнольдс қурилмаси.

1-бак; 2-термометр; 3-рангли модда учун идиш; 4-капилляр труба; 5-труба; 6-кран; 7-йиғич.

Рейнольдс ўз тажрибаларида фақат тезликни эмас, балки трубанинг диаметри, суюқликнинг қовушқоқлиги ва зичлигини ўзгартирди. Бу ўзгарувчан каталликлар: **тезлик  $w$** , **диаметр  $d$** , **зичлик  $\rho$** , **қовушқоқлик  $\mu$**  каби каталликлардан Рейнольдс ўлчамсиз комплекс келтириб чиқарди, яъни:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu}$$

Бу комплекс **Рейнольдс критерийси** (мезони) дейилади. Рейнольдс мезони ўлчовсиз маълум сон қийматга эга.

Агар  $Re < 2300$  бўлса, **ламинар режим** бўлади. Агар  $Re > 10000$  бўлса, **турбулент режим** бўлади.  $Re = 2300 - 10000$  чегарада ўзгарса **ўтиш соҳаси** бўлиб труба ўртасида суюқлик турбулент, девор яқинида ламинар ҳаракатда бўлади.

Босимларнинг ўзгариши Бернулли тенгламаси орқали ифодаланади:

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

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = h$$

бу ерда  $h$  - трубанинг тор ва кенг кесимидаги босимлар ўзгаришининг дифманометрда ўлчанган миқдори, м.

W нинг қийматини динамик напорлар айирмасини ифодаловчи тенгламага қўйсақ:

$$\frac{w_2^2}{2g} - \frac{w_2^2}{2g} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4 = h$$

бундан

$$w_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4}}$$

Диафрагма тешиги  $S_0$  дан ўтаётган суёқлик сарфининг миқдори:

$$V_c = \frac{\alpha\pi}{4} d_0^2 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^4}}$$

бу ерда  $d$ - дрессель асбобларининг сарф коэффициентини,  $d < 1$

Дрессель курилмаларининг диаметри трубаининг диаметридан 3-4 марта кичкина шунинг учун  $(d_2/d_1)^4$  нисбатлар миқдори жуда кичик бўлади, демак суёқликнинг сарфини қуйидагича топилади:

$$V_c = \frac{\alpha\pi}{4} d_0^2 \sqrt{2gh}$$

### Чўкиш тезлиги

Чўкиш тезлигини аниқлаш учун алоҳида олинган шарсимон қаттиқ заррачаларнинг суёқлик муҳитда эркин чўкишини текшираемиз: чўктириш жараёнлари **тиндирувчи** курилмаларда олиб борилади. Бу жараёнда чўкиш тезлигини ҳисоблаш муҳимдир.

Заррача дастлаб тез чўка бошлайди, сўнгра оғирлик кучи қаршилик кучига тенг бўлгандан сўнг ўзгармас тезлик билан бир хилда чўкади. Шу ўзгармас тезлик **чўкиш тезлиги** дейилади. Умумий ҳолда тезлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$w_c = \frac{d^2 \cdot g(\rho_{кз} - \rho_m)}{18\mu_c}$$

Бу тенглама **Стокс тенгламаси** деб юритилади ва  $Re < 2$  бўлганда ишлатилади. Турбулент режимда  $Re > 500$  бўлганда инерция кучларидан устун туради. Турбулент режим учун чўкиш тезлиги қуйидаги тенгламадан топилади:

$$w_c = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_{кз} - \rho_m)}{\rho_m}}$$

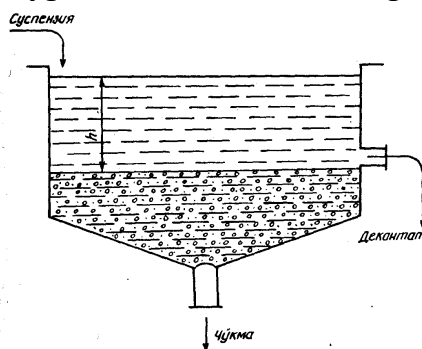
Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги қуйидагича аниқланади:

$$w = w_c \varphi$$

бу ерда  $\phi$  - шакл коэффициенти; 0,77 – думалок бўлган заррачалар учун; 0,43 – пластинкасимон заррачалар учун; 0,66 – учбурчак шаклидаги заррачалар учун.

Чўктириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўктириш жараёнидан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Бу жараён суспензияни филтрлаш орқали ажратишни тезлаштиради. Чўктириш жараёни чўктирувчи ёки қуюлтирувчи қурилмаларда олиб борилади. Чўктириш қурилмалари **даврий, узлуксиз** ва **ярим узлуксиз** режимда ишлатиладиган қурилмаларга бўлинади. Ўз навбатида, узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаси **бир, икки** ва **кўп ярусли** бўлади.

3.7- расмда даврий ишлайдиган чўктириш 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 чўкади. Қурилманинг юқори қисмида эса тозаланган ва баландлиги  $h$  га тенг бўлган 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.



3.7 - расм. Даврий ишлайдиган чўктирувчи қурилма.

Агар  $\rho_k > \rho_m$  (масалан, сутларни тиндириш пайтида) бўлса, дисперс фазанинг заррачалари қурилманинг юқори қисмида йиғилади. Қурилманинг пастки қисмида эса тозаланган қатлам ҳосил бўлади.

### Назорат саволлари

1. Эйлернинг дифференциал тенгламасини ёзинг.
2. Навье-Стокс дифференциал тенгламасини ёзинг.
3. Бернулли тенгламасини ёзинг.
4. Суюқлик тезлиги ва сарфини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
5. Суюқликларни неча турдаги ҳаракат режимлари бор?
6. Суюқликлар ҳаракати қандай катталиклар билан ҳарактерланади?
7. Рейнольдс тажрибаси айтиб беринг.
8. Суюқликларни оқиб чиқиш тенгламасини ёзинг.
9. Маҳаллий қаршилик деб нимага айтилади?
10. Умумий гидравлик қаршилик тенгламасини ёзинг.
11. Маҳаллий қаршилик қандай ҳосил бўлади?

#### 4 - Маъруза

### Мавзу: Кўзғалмас ва мавҳум қайнаш қатламининг гидродинамикаси

#### Режа:

1. Мавҳум қайнаш. Суюқликларнинг донасимон қатламдан ўтиши.
2. Мавҳум қайнаш қатламининг гидродинамикаси.
3. Донасимон толали материалларнинг мавҳум қайнаши.

*Таянч сўзлар ва иборалар:* бир ўлчам, кўп ўлчам, қаршилик, Рейнольдс, мавҳум қайнаш, бўш ҳажм, турлари, тезлик, ҳолатлари, толали, тенглама.

#### Мавҳум қайнаш. Суюқликларнинг донасимон қатламдан ўтиши

Кимё ва озик - овқат технологияси жараёнларида айрим элементлардан таркиб топган кўзғалмас қатлам материаллари орқали томчили суюқлик ёки газлар оқиб ўтади.

Донадор қатлам элементларининг шакли ва ўлчами турли - туман кўринишга эга: масалан, фильтрлар чўкма қатламининг майда заррачалари; гранула; таблетка, катализатор ёки адсорбент бўлаклари; абсорбцион ва ректификацион колонналардаги йирик насадкалар.

Бирор қатлам заррачаларининг ўлчами бир хил ёки турлича бўлишига қараб, донадор қатламлар *монодисперс* ёки *полидисперс* бўлиши мумкин.

Донадор қатлам орқали суюқлик ҳаракати даврида қатлам заррачалари орасидаги бўшлиқлар суюқлик билан тўлиб туради. Бунда, суюқлик қатламнинг заррачаларини, элементларини ювиб ва нотўғри шакли каналлар орқали оқиб ўтади. Бундай ҳаракат гидродинамиканинг аралаш масаласини ташкил этади.

Кўпчилик кимёвий технологик жараёнларда суюқлик ва газлар сочилувчан донасимон материаллар қатлаמידан ўтказилади. Ишлатиладиган донасимон материаллар хилма-хил бўлиб, уларнинг шакли ва ўлчамлари ҳам ҳар хил бўлади. Агар донасимон материаллар бир хил бўлса, *бир ўлчамли қатлам* ва ҳар хил бўлса *кўп ўлчамли қатлам* дейилади.

Газ энергияси ҳисобига қаттиқ заррачаларнинг бир - бирига нисбатан тартибсиз ҳаракатига, яъни қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринишига «қаттиқ жисм – газ» икки фазали системанинг мавҳум қайнаши деб аталади. Ишчи элткич таъсирида ҳосил бўлган мавҳум қайнаш системасининг мавҳум қайнаш ёки қайнаш қатлами деб номланишининг келиб чиқиш сабабларидан бири, ушбу қатламга томчили суюқликлар кўп хоссаларининг мослигидир.

Агар, қаттиқ материал қатламининг мавҳум қайнаш ҳолатини таъминловчи тезлик билан юқорига қараб ишчи элткич ҳаракат қилса, мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлади.

Охирги вақтда кимё ва озик - овқат саноатларининг барча корхоналарида мавҳум қайнаш жараёнлари кенг кўламда қўлланилмоқда. Ушбу жараён аралаштириш, узатиш, сочилувчан материалларни классификациялаш, иссиқлик алмашиниш, қуриштириш, адсорбция, абсорбция, грануллаш, кристалланиш ва бошқа жараёнларда юқори натижалар бермоқда. Бундай

ижобий натижалар мавҳум қайнаш жараёнининг қуйидаги афзалликлари билан белгиланади:

1. Қаттиқ заррачалар интенсив аралашishi, қурилманинг бутун ҳажми бўйлаб материал температураси ва концентрацияларининг текисланишига олиб келади. Бу ҳол ўз навбатида жараёни оптимал ташкил этишга ҳалақит берувчи қаттиқ заррачаларни локал ўта қизиқ кетиш олдини олади;

2. Мавҳум қайнаш қатламининг юқори оқувчанлиги материални бетўхтов узатувчи ва тайёр маҳсулотни тўқувчи, яъни узлуксиз равишда ишлайдиган қурилмаларни яратиш имконини беради;

3. Кичик ўлчамли, катта солиштирма юзали заррачалар қайта ишланганда иссиқлик ва масса алмашиниш юзалари кескин ортади, ҳамда диффузион қаршилиқ камаяди. Бу ҳол ўз навбатида қурилманинг иш унумдорлигини оширишга олиб келади;

4. Иссиқлик алмашиниш жараёнлари интенсивлашади, бу эса иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишчи ҳажмларини камайтириш имконини яратади;

5. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар гидравлик қаршилиги кичик бўлади ва газ оқимининг тезлигига боғлиқ эмас;

6. Қаттиқ заррачалар ва ишчи элткичлар хоссалари жуда кенг ораликда ўзгарадиган, ҳамда суспензия ва пастасимон материаллар ҳам мавҳум қайнаш жараёнида қайта ишланиши мумкин;

7. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар тузилиши содда, ихчам ва осон автоматлаштирилади.

Юқорида қайд этилган афзалликлар билан бирга, мавҳум қайнаш жараёнининг қуйидаги камчиликлари бор:

- бир секцияда заррача ва ишчи элткичларнинг бўлиш вақти бир хил эмас;
- мавҳум қайнаш қатламида заррачалар бир - бирига урилиши натижасида едирилади;

- заррачаларни едирилиши натижасида ҳосил бўлган чанг қурилмадан учиб кетади. Бу ҳол, албатта қўшимча чанг ушлагичлар ўрнатилишини тақозо этади;

- диэлектрик материал заррачалари мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларда ишлов берилганда, статик электр зарядлар ҳосил қилади. Бу эса, портлаш ҳавфини туғдиради.

Қайд этилган мавҳум қайнаш жараёнининг камчиликлари салмоқли эмас ва улар қисман ёки бутунлай бартараф қилиниши мумкин.

Сочилувчан, донадор материаллар қатлами гидравлик қаршилиқ, заррачалар ўлчами, солиштирма юза ва бўш ҳажм улуши билан характерланади.

Донасимон материаллар орасидаги бўшлиқ ҳажмининг қатлам ҳажмига нисбати *бўш ҳажм* дейилади ва  $\varepsilon$  билан белгиланади:

$$\varepsilon = V - V_0 / V$$

бу ерда  $V$ - донасимон қатлам ҳажми;  $V_0$  - қатламдаги заррачалар эгаллаган ҳажм;  $V - V_0$  қатламнинг бўш ҳажми.

Бўш хажмнинг катталиги донасимон материалларнинг хилига ва уларнинг катта-кичиклигига боғлиқ бўлиб, у тажриба орқали топилади. Донасимон қатламдаги гидравлик қаршиликни аниқлашда трубадан суюқлик ўтганда босимнинг йўқолишини топишда қўлланиладиган тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho \omega^2}{2}$$

бу ерда  $\lambda$  - фақат ишқаланиш қаршилигини ҳисобга олмай, балки суюқлик ҳаракати давомидаги маҳаллий қаршиликларни, яъни суюқликнинг заррачалари оралигидаги эгри-бугри каналлардан ва заррачалар орасидан ўтаётгандаги қаршиликларнинг ҳаммасини ҳисобга олади ва умумий қаршилик коэффициенти дейилади.

Тенгламалардаги эквивалент диаметр донадор заррачаларнинг диаметри орқали аниқланади:

$$d_s = \frac{2\Phi \cdot \varepsilon \cdot d}{3(1 - \varepsilon)}$$

бу ерда  $\Phi$  заррачаларининг шаклини белгиловчи катталик,  $d$  - заррачанинг ўлчами.

$$\Phi = F_{\text{ш}} / F$$

бу ерда  $F$  - текширилатган заррачаларнинг юзаси;  $F_{\text{ш}}$  - текширилатган заррачанинг хажмига тенг бўлган шарнинг юзаси.

Масалан: шарсимон заррачалар учун  $\Phi = 1$ ; куб учун  $\Phi = 0,806$ ; баландлиги радиусидан 10 марта катта бўлган цилиндр учун  $\Phi = 0,69$  га тенг.

$\Phi$  нинг қиймати одатда махсус адабиётларда берилади. Агар қатламнинг бўш хажми ва солиштира юзаси маълум бўлса,  $d_s$  ни қуйидагига нисбатдан топиш мумкин:

$$d_s = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a}$$

бу ерда  $a$  - солиштира юза,  $m_2 / m_3$

Солиштира юза қатламнинг хажм бирлигида жойлашган ҳамма заррачаларининг юзасини ифодалайди.

Агар қатлам кўп ўлчамли қатламлардан иборат бўлса, у ҳолда заррачаларнинг диаметри қуйидагича топилади:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}$$

бу ерда  $x_i$  - диаметри  $d_i$  бўлган заррачаларнинг массавий улуши. Қатлам каналларидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлигини аниқлаш қийин. Шу сабабли дастлабки суюқликнинг маъхум тезлиги топилади. Сўнгра қуйидаги нисбатдан фойдаланиб, суюқликнинг ҳақиқий тезлиги аниқланади:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon}$$



бу ерда  $w_0 = V/F$  мавҳум тезлик суюқлик хажмий сарфини қатламнинг кундаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг.

Қаршилик коэффициентини  $\lambda$  ни аниқлаш учун бир қатор тенгламалар таклиф этилган. Суюқликларнинг донасимон қатламлардан ўтишдаги ҳамма режимлар учун умумий гидравлик қаршилик коэффициентини қуйидаги умумий тенглама орқали топиш мумкин:

$$\lambda = \frac{133}{\text{Re}} + 2,54$$

Тенгламадаги Рейнольдс мезони қуйидагича топилади:

$$\text{Re} = \frac{4 \cdot \omega_0 \cdot \rho}{a\mu}$$

бу ерда  $\rho$  ва  $\mu$  - суюқликнинг зичлиги ва динамик қовушқоқлиги,  $a$  - солиштира юза,  $\omega_0$  - суюқликнинг мавҳум тезлиги.

Мавҳум тезлик суюқлик хажмий сарфини қатламнинг кундаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг:  $\omega_0 = V/F$

Қатлам каналидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлиги:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon}$$

бу ерда  $\varepsilon$  - қатламдаги бўш хажмнинг улуши.

Донасимон материаллар орасида бўш хажмнинг қатламнинг хажмига нисбати *бўш хажмнинг улуши* (ёки *зоваклилик*) дейилади ва  $\varepsilon$  билан белгиланади:

$$\varepsilon = \frac{V - V_3}{V} = \frac{V_6}{V},$$

бу ерда  $V$ -донасимон қатлам хажми;  $V_3$  - қатламдаги заррачалар эгаллаган хажм;  $V_6$ - қатламдаги бўш хажм.

Заррачаларнинг солиштира юзаси ( $f_c, \text{м}^2/\text{м}^3$ ) ва уларнинг оралиғидаги каналларнинг эквивалент диаметри ( $d_3, \text{м}$ ) қуйидаги тенгламалар ёрдамида аниқланади:

$$f_c = \frac{6(1-\varepsilon)}{d},$$

$$d_3 = \frac{2}{3} d \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon},$$

бу ерда  $d$ -заррачаларнинг диаметри, м.

Каналларнинг узунлиги қатлам баландлиги орқали аниқланади:

$$l = \varphi H$$

бу ерда  $\varphi$ - тажриба коэффициенти,  $\varphi > 1$ .

$d$ ,  $\omega$ ,  $l$  қийматларини юқоридаги тенгламага қўйиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

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

Ламинар оқим учун қатламнинг қаршилик коэффициенти:

$$\lambda_k = \frac{64}{Re_k} = \frac{64 \cdot 3\mu(1-\varepsilon)}{2\omega_0 d \rho}$$

Бундай ҳолатда:

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

Юқоридаги тенглама ёрдамида суюқлик ёки газнинг гомаксимон қатлам орқали филтрлаш пайтида қатламнинг гидравлик қаршилигини аниқлаш мумкин.

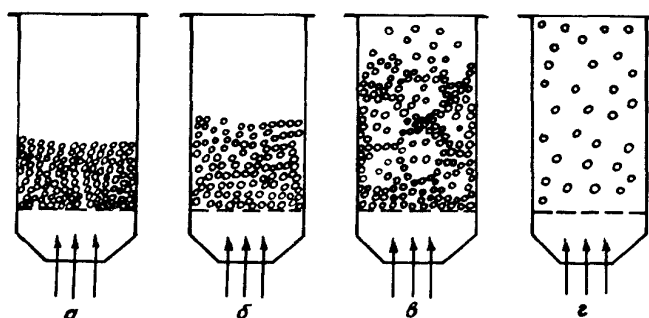
Донасимон қатламдаги суюқликнинг турбулент оқими учун унинг қийматини аниқлаш жуда қийин вазифа ҳисобланади. Шу сабабли бундай шароитда  $\Delta P_k$  нинг қиймати қуйидаги эмпирик тенглама билан топилади:

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

### Мавҳум қайнаш қатламининг гидродинамикаси

Ҳозирги вақтда кимё саноатини барча технологик жараёнларида мавҳум қайнаш усули кенг қўлланилмоқда. Иссиқлик алмашилиш, қуритиш, абсорбциялаш каби жараёнларда мавҳум қайнаш усулининг ишлатилиши катта натижалар бермоқда. Мавҳум қайнаш жараёнида фазалар ўртасидаги контакт юза катта бўлиши туфайли жараён бир неча марта тезлашади, натижада қурилманинг унумдорлиги ошади. Донасимон заррачалар қатламини ҳосил қилиш учун ихтиёрий шаклдаги вертикал идишга донасимон қаттиқ материал солинади.

Мавҳум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги нисбатан катта эмас. Қатламнинг ўзгармас ҳолатдан мавҳум қайнаш ҳолатига ўтишга тўғри келадиган газ ёки суюқликнинг тезлиги мавҳум қайнашнинг *бошланиш тезлиги* ёки *биринчи критик* тезлик деб юритилади. Қаттиқ материал доначаларининг газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келадиган тезлик *чиқиб кетиш тезлиги* ёки *иккинчи критик тезлик* деб аталади. (4.1-расм).



4.1- расм. Мавҳум қайнаш қатламиниинг ҳолатлари:

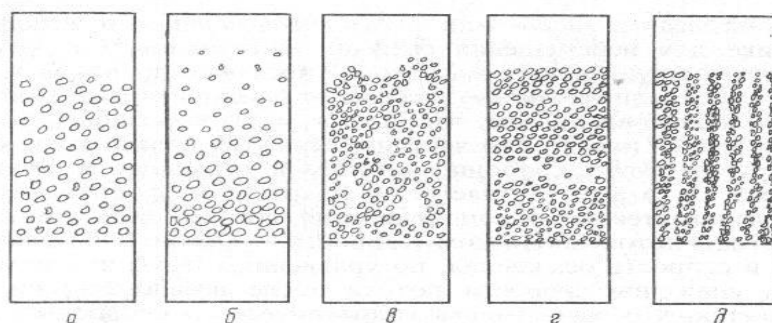
- а) қўзғалмас қатлам (филтрлаш режими);
- б) бир жинсли мавҳум қайнаш қатлами;
- в) турли жинсли мавҳум қайнаш қатлами;
- г) қаттиқ дончаларнинг оқим билан чиқиб кетиши.

Шундай қилиб, мавҳум қайнаш ҳолати биринчи ва иккинчи тезликлар ўртасида юз беради.

Мавҳум қайнаш 2 хил (бир жинсли ва турли) кўринишда юз беради (4.2-расм). Бир жинсли мавҳум қайнашда 1 чи ва 2 чи критик тезликлар ўртасида қаттиқ материал заррачалари бутун қатлам баландлиги бўйича 1 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 газ оқими ёрдамида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда юз беради. Турли жинсли қатламнинг ҳосил бўлиш даражаси заррачаларнинг юзаси ва шаклига, 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.

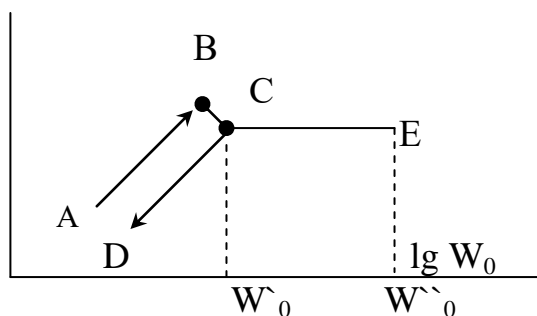


4.2-расм. Мавҳум қайнаш қатламиниинг турлари.

- а - бир жинсли; б - турли жинсли; в – барботажли;
- г - поршенли; д - каналли.

Айрим шароитларда газ кўпикларига эга бўлган мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлади. Нам қаттиқ материаллар ёки жуда кичик ўлчамли материаллар мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда канал ҳосил қилувчи қатлам пайдо

бўлади. Бунда газ каналлар орқали ўтиб кетади, каттиқ материалларнинг асосий массаси ўзгармай қолаверади.



4.3- расм. Донадор металллар гидравлик қарши металлнинг тезлик билан ўзаро боғлиқлиги.

Конуссимон ва конусли-цилиндрсимон қурилмаларда канал ҳосил қилувчи қатлам фонтанли қатламга айланади.

Қаттиқ материалларнинг мавҳум қайнаш ҳолатига келтиришда оғирлик кучидан ташқари магнит ва марказдан қочма кучлар майдонидан ҳам фойдаланса бўлади.

Мавҳум қайнаш жараёнининг бошланиши билан оқимнинг гидродинамик босим кучлари қатламдаги каттиқ заррачалар оғирлигини мувозанатга солиб туради. Газ оқими тезлигининг ортиши билан заррачалар оғирлиги ўзгармайди, заррачаларни мавҳум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур бўлган энергия сарфи ҳам бир хил бўлади. Ўзгармас қатламдан мавҳум қайнаш ҳолатига ўтиш учун босим чўққиси характерлидир. Заррачалар ўртасидаги ўзаро тортишиш кучларини енгиш учун қўшимча энергия сарфланиши сабабли босим чўққиси ҳосил бўлади.

Босим чўққисининг катталиги заррачалар шакли ва юзасига боғлиқ. Агар газ тезлиги аста-секин камайтирилса, эгри чизиқ А нуктада кесишмай пастроқдан ўтиб, чўкма ҳосил қилмайди. Бу ҳодиса *гистерезис* деб аталади. Мавҳум қайнаш ҳосил бўлишининг критик тезлигини топиш учун жуда кўп тенгламалар таклиф этилган. Шарсимон бир жинсли заррачалар учун биринчи критик тезликни топишда Тодес тенгламасидан фойдаланиш энг қулайдир:

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

бу ерда

$$Re_{кр} = \frac{\omega_0 \cdot \rho \cdot d}{\mu}$$

$$Ar = \frac{d^3 \cdot (\rho_{кз} - \rho_{м}) \rho \cdot g}{\mu^2}$$

$d$  - қаттиқ заррачалар диаметри, м;  $\rho_{кз}$  - қаттиқ заррачалар зичлиги, кг/ м<sup>3</sup>;  
 $\mu$  - муҳитнинг динамик қовушқоқлиги, Па с;  $p$  - эркин тушиш тезланиши, м/с<sup>2</sup>,  
 $\rho_m$  - муҳитнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>.

Ўзгармас қатлам ва мавҳум қайнаш қатлами баландликлари қуйидаги боғланишга эга:

$$H = (1 - E) = H_0 (1 - E_0)$$

бу ерда  $H$  - мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги, м;  $E$  - мавҳум қайнаш қатламидаги заррачалар орасидаги бўшлиқ;  $H_0$  - ўзгармас қатлам баландлиги, м;  $E_0$  - ўзгармас қатламдаги заррачалар орасидаги бўшлиқ.

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

$$K_w = w_0 / w'_0$$

бу ерда  $w_0$  - қурилманинг тўла кесимига нисбатан олинган оқимнинг иш тезлиги, м/с;  $w'_0$  - мавҳум қайнаш қатлами ҳосил бўлиш критик тезлиги, м/с.

Мавҳум қайнаш сони  $K_w$  заррачаларининг қатламдаги аралашуш интенсивлиги кўрсатади. Мавҳум қайнаш қатламида энг интенсив аралашуш  $K_w = 2$  да бўлади. Лекин ҳар бир технологик жараён учун  $K_w$  нинг оптимал қиймати тажриба йўли билан аниқланади.

Заррачаларнинг қатламда ўртача бўлиш вақти:

$$\tau_0 = \frac{G_m}{Q_c}$$

бу ерда  $G_m$  - қатламда бўлган қаттиқ материалнинг массаси, кг;  $Q_c$  - қаттиқ материал сарфи кг/с.

Қаттиқ заррачаларнинг газ ёки суюқлик оқими билан чиқиб кетиш тезлиги Тодес тенгламаси орқали топилади:

$$Re_{кр} = \frac{Ar}{18 + 0,62\sqrt{Ar}}$$

бу ерда

$$Re_{кр} = \frac{w'_0 \cdot \rho \cdot d}{\mu}$$

Мавҳум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P = H (\rho_{кз} - \rho_m) (1 - \varepsilon)$$

### **Донасимон толали материалларнинг мавҳум қайнаши**

Тошкент Кимё-технология институти «Жараёнлар ва қурилмалар» кафедраси олиб борилган тадқиқотларга кўра донасимон толали материаллар (пахта чигити) нинг мавҳум қайнаш қатлами ўзига хос хусусиятларга эга экан. Чунки пахта чигитининг донаси ноксимон нотўғри шаклга эга бўлиб, юзасида турли узунликка эга бўлган тўсиқлари бўлади. Пахта чигити учун биринчи критик тезликнинг қиймати чигитнинг тола ушлашига боғлиқ эканлиги тасдиқланади. Чигит қатлами учун  $E_0 = 0,43 - 0,55$  маълум бўлди, кўпчилик сочилувчан материаллар учун  $E_0 = 0,38 - 0,42$  (ўртача  $E_0 = 0,4$ ).

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

Туксиз ва тола ушлашлиги 13% гача бўлган тукли пахта чигити учун  $Re$  мезони қуйидаги тенглама орқали аниқлаш таклиф этилди:

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

Тадқиқотларга кўра  $Re$  мезонининг қиймати шакл коэффициентига ва заррачанинг тола ушлашлигига боғлиқ экан. Шу сабабдан донасимон толали материалларнинг ушбу хоссалари заррачанинг тола ушлашлик даражасини белгиловчи коэффициент  $\eta$  орқали ҳисобга олиниши мақсадга мувофиқ бўлади:

$$\eta = \frac{Re_{кр}}{Re_{кр}^0}$$

бу ерда  $Re_{кр}^0$  - туксиз чигит ( $T=0$  %) учун  $Re_{кр}$  нинг қиймати. Турли навдаги пахта чигити учун  $\eta$  нинг қиймати  $\eta = 1 - 2,32$  га тенг бўлиб, қуйидаги эмпирик тенглама орқали топилади:

$$\eta = 1 + 0,43 T^{0,44}$$

бу ерда  $T$ -чигитнинг ташки юзасидаги толанинг миқдори, %.

Қаттиқ заррачанинг тола ушлашлик даражаси топилгандан сўнг мавҳум қайнашнинг биринчи критик тезлиги қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Re_{кр} = \eta \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}$$

Донасимон толали материалларнинг қурилмадан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келган иккинчи критик тезликни аниқлаш учун қуйидаги тенглама таклиф қилинди:

$$Re_2 = \frac{\eta^{0,422} Ar}{20,16 + 0,683\sqrt{Ar}}$$

Олиб борилган тажриба натижаларини  $Re = f(Ar)$  кўринишда қайта ишлаш натижасида қўзғалмас, кенгайтирилган ва мавҳум қайнаш ҳолатларининг чегаралари аниқланади.

Кенгайтирилган қатламнинг бошланиш чегарасини аниқлаш учун қуйидаги эмпирик тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Re_{кр} = (431,2 - 111,15 \eta) P^{0,183}$$

бу ерда  $P$  - қатлам массасининг юзага нисбати,  $кг/м^2$ .

Шундай қилиб олиб борилган тадқиқот натижаларига кўра донасимон толали материаллар учун мавҳум қайнаш ҳолати 2 ва 3 чегара чизиқлари оралигида мавжуд бўлади.

### Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар

Жараёнлар боришининг технологик шароитларини, ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатига қўйиладиган талабларни ўзаро таъсирда бўлган моддаларнинг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олувчи жуда кўп мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар конструкциялари яратилган. Ишлаш принципига қараб даврий ва узлуксиз ишлайдиган қурилмалар бўлади. Узлуксиз

қурилмаларда газ оқими ва донатор материал ўзаро таъсир қилиб, унга узлуксиз равишда юкланади ва қурилмадан тўкилади.

**Узлуксиз ишлайдиган, қарама - қарши йўлли цилиндрик қурилмаларда** газ оқими тақсимловчи тешикли панжара остига узатилса, материал эса қурилма-нинг тепа қисмидан юкланади. Газ тақсимловчи тешикли панжара устида донатор материалнинг бир хил сатҳини таъминлаш ва қурилмадан чиқариш учун оқиб ўтувчи патрубклар хизмат қилади.

Вертикал цилиндрсимон қурилмалар катта миқдордаги дон – дунларни йиғиб қўйиш учун ишлатилади. Газ тақсимлаш камераси ясси туб ва тешикли панжаралар орасида жойлашган иккита цилиндрдан иборат. Бу конструкцияли камераларда концентрик тўсиқ уни иккита, яъни ички ва ташқи ҳалқаларга бўлади. Ташқи ҳалқа бўшлиғига, ичкига қараганда 2 марта кўп газ юборилади. Турли миқдорда газ узатилгани сабабли, қурилмада дон маҳсулотининг йўналтирилган циркуляцияли ҳаракати пайдо бўлади. Натижада материал интенсив аралашади ва заррачалар ҳаракати қурилма ўқидан цилиндрик девор томонга йўналган бўлади.

**Конуссимон қурилмаларда** газ оқими катта тезликда қурилма тубидаги штуцер орқали юборилади. Ушбу ҳолатда қурилмага газ тақсимловчи тешикли панжара ҳам ўрнатилмаса бўлади. Тешикли панжарасиз қурилмаларда ёпишқоқ материалларни ҳам мавҳум қайнаш жараёнидан фойдаланиб қуритса бўлади. Агар, конуслик бурчаги катта бўлса, газ оқимининг қурилма девори яқинида фаоллиги камаяди ва конус ўқи бўйлаб узлуксиз канал барпо бўлиши мумкин. Ушбу канал орқали катта тезликда «газ - қаттиқ заррача» аралашмаси ҳаракат қилиб, қатламдан отилиб чиқиб, қаттиқ заррачалар фаввораларини ҳосил қилади. Бундай қатлам **фавворасимон қатлам** деб аталади. Диаметри 25...40 мкм ўлчамли ёпишқоқ ва электролизацияга мойил майда заррачалар мавҳум қайнаш жараёнида яхши аралашини таъминлаш ва ҳаракатсиз зоналарни бартараф қилиш мақсадида, ҳамда иссиқлик ва масса алмашини жароёнларини интенсивлаш учун газомеханик мавҳум қайнаш усулидан фойдаланилади.

### Назорат саволлари

1. Суюқликларнинг донасимон қатламдаги ҳаракати.
2. Қатламнинг гидравлик қаршилиги қайси тартибда ҳисобланади.
3. Мавҳум қайнаш ҳолатининг асосий хусусиятларини айтинг.
4. Мавҳум қайнаш турларини айтинг.
5. Донасимон толали материалларнинг мавҳум қайнаши қандай?
6. Биринчи ва иккинчи критик тезликлар қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
7. Донасимон толали материалларнинг гидродинамикаси. Бундай қатламда газоқими ўтганда нечта зона ҳосил бўлади?
8. Донасимон толали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегараларини аниқлаш учун қандай тенгламалар таклиф этилган?
9. Қаттиқ заррачалар газ ёки суюқлик оқими билан чиқиб кетиш тезлиги қайси тенглама орқали топилади?
10. Мавҳум қайнаш қатламининг гидравлик қаршилиги қандай аниқланади?

## 5 – Маъруза

### Мавзу: Насослар. Суюқликларни узатиш

#### Режа:

1. Суюқликларни узатиш. Насослар ва уларнинг турлари.
2. Насосларнинг асосий параметрлари.
3. Унумдорлик, напор, қувват сарфи. Сўриш баландлиги.

*Таянч сўзлар ва иборалар:* насос, турлари, параметрлар, унумдорлик, напор, қувват, ФИК, ўриш, ҳайдаш, геометрик баландлик, тенглама, паррак, ўриш, ҳайдаш, насос, ғилдирак, афзаллиги, тенглама, напор, тавсифи, пропорционаллик, баландлик, кавитация.

#### Суюқликларни узатиш. Насослар ва уларнинг турлари.

Кимё саноатининг барча тармоқларида суюқликлар горизонтал ва вертикал трубалар орқали узатилади. Сув, нефть, бензин, керосин, мойлар ва бошқа суюқликларни узатиш учун мўлжалланган машиналар **насослар** дейилади. Трубаларнинг бошлангич ва охириги нуқталаридаги босимлар фарқи трубалардан суюқликнинг оқиши учун ҳаракатлантирувчи куч ҳисобланади. Суюқлик оқимининг трубалардаги ҳаракатлантирувчи кучи гидравлик машиналар ёки насослар орқали ҳосил қилинади.

Насос электр двигателдан механик энергия олиб, уни суюқликнинг ҳаракатланаётган оқим энергиясига айлантириб, босимни оширади. Насослар халқ хўжалигининг барча соҳаларида: машинасозликда, металлургияда, кимё саноатида, ер ишларини гидромеханизациялаштиришда ва кўпчилик бошқа тармоқларда кенг қўлланилади.

Насослар асосан икки турга: динамик ва хажмий насосларга бўлинади. Динамик насосларда суюқлик ташки 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 насосларга* бўлинади. Марказдан қочма насосларда суюқлик иш ғилдиракларининг марказидан унинг четига қараб ҳаракат қилса, пропеллерли насосларда эса суюқлик ғилдиракнинг 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.

Хажмий насосларнинг ишлаш принципи суюқликнинг маълум бир хажмини ёпиқ камерадан итариб чиқаришга асосланган.

Хажмий насослар жумласига поршенли, плунжерли, диафрагмали, шестерняли, пластинали ва винтсимон насослар киради.

Саноатда суюқликларни сиқилган газ ёки ҳаво ёрдамида узатиш учун газлифтлар ва монтежюлар ҳам ишлатилади.



## ЁДДА ТУТИНГ!

Насослар икки турга динамик ва хажмий насосларга бўлинади.

### Насосларнинг асосий параметрлари

Насослардан фойдаланиш иш унумдорлигини *напор ва қувват* каби катталиклар билан белгиланади. Насоснинг вақт бирлиги ичида узатиб берадиган суюқлик миқдори *иш унумдорлиги* ёки *сарфи* дейилади.

Насоснинг масса бирлигига эга бўлган суюқликка берган солиштирма энергияси *напор* деб юритилади. Насоснинг босими оқимнинг насосга кириш ва чиқишидаги солиштирма энергиялари айирмасига тенг.

Суюқликка энергия бериш учун сарфланган насоснинг фойдали қуввати  $N_\phi$  суюқлик сарфи миқдори  $\gamma \cdot Q$  нинг солиштирма энергияга кўпайтирилганига тенг:

$$N_\phi = \gamma \cdot QH = \rho g QH \quad (5.1)$$

Насоснинг ўқидаги қуввати фойдали қувватдан каттароқ бўлади. Чунки насосда энергиянинг бир қисми йўқолади. Энергиянинг йўқолиши насоснинг ФИК  $\eta_n$  билан белгиланади. Демак насоснинг ўқидаги қувват қуйидаги тенглама билан топилади.

$$N_e = \frac{N_\phi}{\eta_n} = \frac{\rho g V H}{\eta_n} \quad (5.2)$$

ФИК  $\eta_n$  насосдаги қувватнинг нисбий йўқолишини насоснинг мукамаллигини ва уни ишлатишнинг арзонлигини ифодалайди, ҳамда қуйидаги кўпайтма орқали топилади:

$$\eta_n = \eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_{мех} \quad (5.3)$$

бу ерда

$\eta_v$  - хажми Ф И К  
 $\eta_r$  - гидравлик Ф И К  
 $\eta_m$  - механик Ф И К

Хажмий ФИК насоснинг ҳақиқий иш унумдорлигининг назарий иш унумдорлигига нисбатига тенг бўлиб, насос конструкциясининг зич бўлмаган жойларидан сизиб чиққан суюқликнинг миқдорини белгилайди.

Гидравлик ФИК насос суюқликнинг насосдан ўтишида гидравлик ва маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун сарф бўлган напорнинг йўқолишини ифодалайди.

Механик ФИК насос механизмларидаги ишқаланишни енгишга сарфланган қувватнинг йўқолишини белгилайди.

Двигатель истеъмол қиладиган қувват насос ўқидаги қувватдан ортиқроқ бўлади, чунки қувватнинг бир қисми электр двигателнинг ўқида ва электр двигателда механик энергия насосга берилаётганда сарф бўлади, яъни:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_e}{\eta_y \cdot \eta_{\text{дв}}} = \frac{N_{\text{ф}}}{\eta_n \cdot \eta_y \cdot \eta_{\text{дв}}} \quad (5.4)$$

Кўпайтма  $\eta_n$ ,  $\eta_y$ ,  $\eta_{\text{дв}}$  насос қурилмасининг тўла ФИК деб юритилади ва  $\eta$  билан белгиланади. Насос қурилмаларини ўрнатиш учун зарур бўлган қувват қуйидагига тенг:

$$N_n = \beta N_{\text{дв}} \quad (5.4a)$$

бу ерда:  $\beta$  - қувватнинг запас коэффициентини, бу коэффициентнинг қиймати двигателнинг номинал қувватига нисбатан топилади

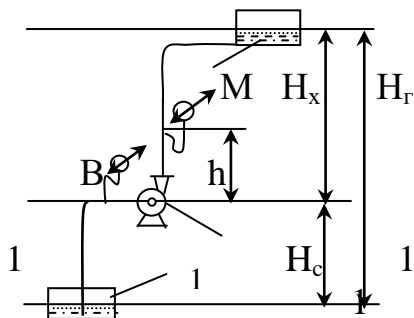
$N_{\text{дв}}$ кВт	1 дан кам	1 – 5	5 – 50	50 дан кўп
	2 – 1,5	1,5 – 1,2	1,2 – 1,15	1,1

### ЁДДА ТУТИНГ!

Насосларнинг асосий параметрлари иш унумдорлиги, напор ва қувват каби катталиклар билан характерланади.

### Насосларнинг умумий напори ва сўриш баландлиги

Суюқликнинг пастки идишдан сўриш ва ҳайдаш трубалари орқали ҳайдаш учун двигатель насосга зарур энергия бериши, яъни насос босими ҳосил қилиши лозим. Насоснинг умумий напорини 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:



5.1 – расм. Насоснинг умумий босимини аниқлаш.

$P$  - суюқлик сўриб олинаётган идишдаги босим;

$P$  - юқорида жойлашган идишдаги босим;

$P_c$ ,  $P_x$  - суюқликнинг насосга киришидаги ва чиқишдаги босими;

$H_c$  - сўриш баландлиги;

$H_x$  - ҳайдаш баландлиги;

$H_g$  - суюқликнинг геометрик кўтарилиши баландлиги;

$h$  - вакууметр ва манометр ўрнатилган нуқталар орасидаги вертикал масофа.

Насоснинг напорини аниқлаш учун пастки идишдаги суюқлик баландлигининг текистлигига нисбатан сўриш вақтидаги 1-1 ва 1'-1' кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_c + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_c^2}{2g} + h_c \quad (5.5)$$

Худди шунингдек, насос ўқидан утувчи тѳкисликка нисбатан хайдаш вақтидаги 1-1 ва 2-2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ѳзамиз:

$$\frac{P_x}{\rho g} + \frac{w_x^2}{2g} = H_x + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_x \quad (5.6)$$

бу ерда  $\omega_1, \omega_2$  - пастки ва юқориги идишлардаги суюқликнинг тезлиги;  $\omega_c, \omega_x$  - сўриш ва хайдаш трубаларидаги суюқлик тезлиги;  $h_c, h_x$  - сўриш ва хайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган напор миқдори.

Сўриш ва хайдаш трубаларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқориги идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлиб, у нолга тенг.

Насоснинг напори оқимнинг насосга кириш ва чиқишдаги солиштирма энергиялари айирмасига тенг:

$$H = \frac{P_x - P_c}{\rho \cdot g} \quad (5.7)$$

(5.5) ва (5.6) тенгламалардан айирмалар фарқини аниқласак:

Бунда  $\omega_c = \omega_x$ , чунки хайдаш 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 юқоридаги тенгламани қуйидагича ѳзиш мумкин:

$$H = H_r + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_y \quad (5.8)$$

Демак, насоснинг умумий напори суюқликни геометрик баландлик  $H_r$  га кўтариш учун, пастки ва юқориги идишлардаги босимлар орасидаги фарқни ҳамда сўриш ва узатиш трубаларидаги гидравлик қаршиликни енгиш учун сарфланади. Агар пастки юқориги идишлардаги босим ўзаро тенг бўлса, у ҳолда насоснинг умумий напори:

$$H = H_r + h_y \quad (5.9)$$

Суюқлик горизонтал трубалар орқали узатилса ( $H_r = 0$ ):

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_y \quad (5.10)$$

Худди шунингдек, насоснинг умумий напорини манометр ва вакууметрнинг кўрсатиши бўйича ҳам аниқлаш мумкин:

$$H = \frac{P_{мон} + P_{вак}}{\rho \cdot g} + h \quad (5.11)$$

Шундай қилиб, насоснинг умумий напори манометр ва вакууметрлар кўрсатишларининг йиғиндиси билан бу асбоблар уланган нуқталар орасидаги вертикал масофанинг йиғиндисига тенг.

**Сўриш баландлиги.** Пастки идишдаги суюқликни эркин сиртига (5.1- расм) атмосфера босими  $P_o$  таъсир этади. Суюқлик сўриш трубаси орқали баландликка кўтарилиб, насоснинг иш камерасини тўлдириш учун бу камерада сийракланиш вужудга келтириш керак. Бунда иш камерасига қолдиқ абсолют босим  $P_c < P_o$  таъсир этади. Босимлар фарқи  $P_o - P_c$  ҳосил бўлганлиги сабабли суюқлик устунининг метрларда ифодаланган напори  $P_o - P_c / \rho g$  ҳосил бўлади. Бу босимнинг бир қисми суюқликнинг сўриш трубасида  $H$  баландликка кўтариш учун қолган қисми эса суюқликнинг трубада  $\omega$  тезлик билан ҳаракатланишига ёки тезлик босимини ҳосил қилиш учун ва сўрилаётган суюқлик йўлида учрайдиган барча қаршилиқларни енгишга сарфланади. У ҳолда:

$$\frac{P_o}{\rho g} - \frac{P_c}{\rho g} = H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \quad (5.12)$$

Узатилаётган суюқликнинг қайнаб кетишини ҳисобга олган ҳолда сўрилиш трубаларидаги босим шу ҳароратдаги суюқликнинг туйинган буғ босими  $P_t$  дан юқори бўлиши керак. Бунда насоснинг нормал ишлаши учун тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{P_c}{\rho g} = \frac{P_o}{\rho g} - \left( H_c + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{P_t}{\rho g} \quad (5.13)$$

Бу ердан

$$H_c \leq \frac{P_o}{\rho g} - \left( \frac{P_t}{\rho g} + \frac{\omega^2}{2g} + h_c \right) \quad (5.14)$$

Ҳарорат ортиши билан суюқликнинг туйинган буғ босими ҳам ортиб, у қайнаш ҳароратида ташқи атмосфера босимига тенглашади, бу вақтда сўриш баландлиги нолга тенг бўлади.

Шунинг учун қовушқоқлиги юқори ва иссиқ суюқликларни узатаётганда насос қабўл қилувчи идишга нисбатан пастроқ ўрнатилиши зарур. Худди шунингдек, сўриш баландлигини ҳисоблашда гидравлик ва маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун кетган сарфлардан ташқари, марказдан қочма насосларда эса инерцион куч таъсирида бўладиган босим йўқолишлари инобатга олиниши лозим.

**Насосларнинг асосий тенгламаси.** Насос ишлаганида суюқликнинг ҳар бир заррачалари бир вақтнинг ўзида каналда  $w$  тезликда паррак бўйлаб ҳамда иш ғилдираги билан биргаликда насос ўқи атрофида  $u$  тезликда айланма ҳаракат қилади. Механика қонунларига асосан, вақт бирлигидаги ўзгарувчан ҳаракат миқдори системага тенг таъсир қилувчи ташқи кучларнинг моментига

тенг. Агар суюқлик массасини  $G$  десак, вақт бирлигида насос ғилдирагидан ўтаётган суюқлик миқдори:

$$G (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) = M \quad (5.15)$$

Айланиш momentiда суюқликнинг сарфи бўлмаса ва ғилдирак айланиш momentининг бурчак частотаси  $\omega$  бўлса, ғилдирак парраklarининг суюқликка берадиган қуввати қуйидагича бўлади:

$$M\omega = G g H_n \quad (5.16)$$

бу ерда  $H_n$  – насос ғилдираги ҳосил қиладиган назарий напор.

Шундай қилиб: 
$$G\omega = (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) = G g H_n \quad (5.17)$$

$\omega R_1 = u_1$  ва  $\omega R_2 = u_2$  бўлгани учун (5.16) тенгламадан назарий напорни аниқласак, у ҳолда:

$$H_n = 1/g (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) \quad (5.18)$$

Бу тенглик марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламаси бўлиб, назарий напорни аниқлаш учун ишлатилади.

Насосларда напорнинг максимал қийматига эришиш учун иш ғилдираги парраklarга суюқлик радиал йўналишда кирадиган қилиб тайёрланади.

Йўқотилган напорларнинг миқдори гидравлик фойдали ҳаракат коэффициентини  $\eta_r$  ва хажмий коэффициентини  $\eta_v$  билан ҳисобга олинади. Шундай қилиб, насоснинг ҳақиқий напори қуйидагича аниқланади:

$$H_x = \eta_r \eta_v (u_2 c_2 \cos \alpha_2 / g) \quad (5.19)$$

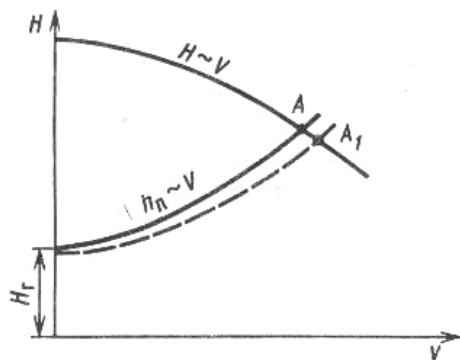
$\eta_r$  нинг қиймати насос конструкцияси, катталиги ва тайёрланиш сифатига боғлиқ бўлиб  $\eta_r = 0,7--0,9$ ;  $\eta_v = 0,8$  га тенг бўлади.

### Насосларнинг иш ва умумий тавсифи

**Насосларнинг тавсифи.** Иш ғилдиракнинг айланишлар частотаси  $n$  ўзгармас бўлганда насос иш унумдорлиги  $Q$  нинг напор  $H$ , насоснинг ўз қуввати  $N_e$  ва  $\eta_n$  билан график усулдаги боғлиқлиги *насосларнинг тавсифи* дейилади. Бундай график боғлиқлар марказдан қочма насосларни текшириш пайтида олинади. Бунда ҳайдаш линиясидаги задвижканинг очилиши ҳар хил олинади. Бу вақтда насос оладиган қувват насоснинг салт ишлашига мос келади. Бундай шароитда ФИК ҳам  $\eta_n = 0$  бўлади, чунки насос суюқликни узатишга оид фойдали иш бажармайди, салт ишлаш қуввати эса насосдаги барча ишқаланишлар вужудга келадиган механик исрофларни қоплашга сарфланади.

Иш унумдорлигини задвижкани очиш билан кўпайтирсак, насоснинг напори камайиб, насос оладиган қувват ортиб боради ва ФИК максимал қийматга эга бўлади. Бу ҳол шуни кўрсатадики, айланиш ғилдирагининг тезлиги ўзгармас бўлганда, насоснинг тавсифидан фойдаланиб энергиянинг энг тежамли фойдаланиш режими топиш мумкин.

**Насоснинг тармоқдаги иши.** Тармоқ характеристикаси узатилаётган суюқлик унумдорлиги билан босим орасидаги боғлиқликни кўрсатади. Босим эса, геометрик узатиш баландлиги билан босимни йўқотилиш йиғиндиси орқали аниқланади.



5.2-расм. Насоснинг тармоқ характеристикаси.

Дарси-Вейсбах тенгламасидан  $h_n = R \cdot V^2$  эканлигини аниқлаш мумкин. Бундан характеристиканинг парабола тенгламасини  $H = H_r + R \cdot V^2$  кўринишида ёзиш мумкин.

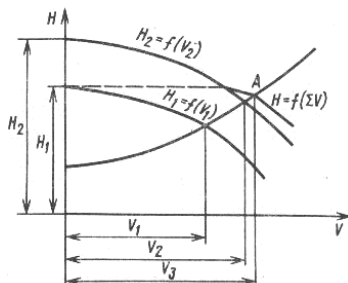
5.2-расмда насос ва тармоқнинг характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикаларнинг кесишган жойи  $A$  иш нуқтаси дейилади. Ушбу тармоқда насос ишлагада бу нуқта энг юқори унумдорлик эканлигини билдиради. Агар каттароқ

миқдорда унумдорлик керак бўлса, электр юриткичнинг айланишлар частотасини ошириш зарур ёки тармоқда босим йўқотилишини, ҳамда геометрик узатиш баландлигини камайтириш керак.

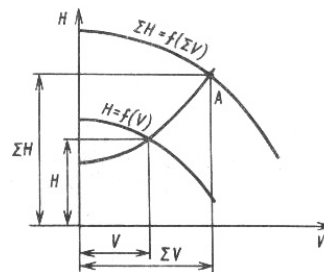
Тармоқда босим йўқотилиши камайтирилганда, иш нуқтаси ( $A_1$ ) ўнгга сурилади. Агар, юқорида қайд этилган, уччала усулда ҳам унумдорлик ошмаса, у ҳолда насос янада қувватлиси билан алмаштирилади.

**Насосларни биргаликда ишлаши.** Насосларнинг суюқликни узатиш миқдорини оширишга, уларни параллел улаш йўли билан эришилади.

Насосларнинг **йиғма** характеристикасини ҳар бир насос характеристикаси



5.3-расм. Параллел уланган икки насоснинг биргаликда ишлаши.



5.4-расм. Кетма-кет уланган икки насоснинг биргаликда ишлаши.

абсциссалари йиғиндиси орқали олинади.

5.3-расмда  $1$  ва  $2$  насосларнинг йиғма характеристикалари кўрсатилган. Ҳар бир насос алоҳида  $V_1$  ва  $V_2$  унумдорликка эга. Параллел уланганда йиғма унумдорлик  $V_3$  га тенг бўлади ( $A$  иш нуқтаси), лекин у насосларни алоҳида унумдорликларидан кам бўлади. Бунда унумдорликдан ютиш тармоқ характеристикасининг шаклига боғлиқ бўлади. Агар тармоқ характеристикаси қия бўлса (эгри чизик), йиғма унумдорлик ўсади. Босимнинг ўсиши бундай ҳолларда сезиларсиз бўлади.

Босимнинг ортиши учун насослар кетма-кет уланиши керак. Бу ҳолда йиғма характеристика алоҳида насосларнинг характеристика ординаталарини қўшиш йўли билан олинади. Бу характеристика билан тармоқ характеристикаси

кесишган нуқтаси йиғма босим ва унумдорликни аниқлаб беради (5.4-расм). Тармоқнинг характеристикаси тикка (қия) бўлса сезиларли ўсишга эришилади.

**Марказдан қочма насосларни ростлаш.** Ростлаш, масалан, насос узатишини ўзгартиришдан иборат бўлади. Бунга эришиш учун ёки тармоқ характеристикаси, ёки насос характеристикаси ўзгартирилади.

Тармоқ характеристикасини эса узатиш қувуридаги лўкидонни очиш ёки ёпиш билан ўзгартириш мумкин. Сўриш қувуридаги узатишни ростлаш одатда насос ишини узилишига олиб келади.

Насос характеристикасини ўзгартириш учун ишчи ғилдирак сонини ошириш ёки куракчаларни бурилиш бурчаклари  $\beta_1$  ва  $\beta_2$  ларни ўзгартириш билан амалга ошириш мумкин. Бурчакни ўзгартирганда насос унумдорлигини катта қийматга оширишга эришса бўлади.

### Назорат саволлари

1. Марказдан қочма насосларнинг иш принципини тушунтиринг.
2. Марказдан қочма насосларнинг асосий тенгламасини ёзинг.
3. Насоснинг ҳақиқий напори тенгламасини ёзинг.
4. Марказдан қочма насосларни афзалликлари ва камчиликларини айтинг?
5. Марказдан қочма насоснинг унверсал характеристикаси ўртасида қандай боғлиқлик мавжуд?
6. Насоснинг босими сўриш баландлиги ўртасида қандай фарқ ва умумийлик бор?
7. Марказдан қочма насос учун пропорционаллик қонунинг мазмуни нимадан иборат?

## 6 - Маъруза

### Мавзу: Насослар турлари

Режа:

1. Марказдан қочма насослар.
2. Пропорционаллик қонуни. Кавитация.
3. Поршенли ва бошқа турдаги насослар.

*Таянч сўзлар ва иборалар: сўриш, ҳайдаш, поршень, икки тамонлама, унумдорлик, роторли, пластинали, винтли, оқимли, пропеллерли, монтежю газлифт, эрлифт.*

#### Марказдан қочма насослар

Марказдан қочма насосларда спиралсимон қобик ичида парракли иш ғилдирак жойлашган. Иш ғилдиракнинг айланишида марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида суюқликнинг сўрилиши ва уни ҳайдаш бир меъёрда узлуксиз боради. Насос ишга туширилишдан олдин сўриш трубази, иш ғилдираги ва қобик суюқликка тўлдирилади. Сўнгра двигатель ток манбаига уланади: иш ғилдираги ҳаракатга келтирилади. Суюқлик ғилдирак билан бирга айланиб, марказдан қочма куч таъсирида парраklar воситасида ғилдиракнинг марказидан чеккасига отилиб, спиралсимон кўзғалмас камерани тўлдиради ва ҳайдаш трубази орқали баландликка кўтарилади. Бунда иш ғилдирагининг кириш олдида сийракланиш вужудга келади. Суюқлик сўриш трубазидан насосга кириб, иш ғилдиракнинг марказий қисмини тўлдиради ҳамда ғилдиракнинг чеккаларига чиқариб ташланади ва ҳоказо.



**6.1 –расм. Марказдан қочма насос.**

1-сўриш патрубкиси; 2-сальник; 3-қобик;  
4-иш ғилдираги; 5-иш ғилдирагининг  
кураклари; 6-ҳайдаш патрубкиси

Суюқлик иш ғилдираги орқали оқиб ўтишида двигателнинг механик энергияси суюқлик оқими энергиясига айланади. Марказдан қочма насосларнинг унумдорлигини ошириш учун икки ёқлама сўрадиган насослар ҳам ишлади. Насоснинг ишлашини текшириш учун сўриш йўлига вакуумметр ва ҳайдаш трубазига эса манометр ўрнатилади (6.1 - расм).

Насосда суюқликнинг миқдорини ростлаш учун ҳайдаш трубазига кран-вентиль ёки задвижка ўрнатилади.

Ғилдираклар сонига қараб марказдан қочма насослар бир ва кўп босқичли бўлади. Кўп босқичли насосларда ғилдираклар сони 5 тагача бўлади.

Марказдан қочма насосларнинг афзаллиги: суюқлик вақт ўтиши билан бир меъёрда узатилади, тузилиши содда, ихчам, вазни енгил ва ўлчамлари кичкина, ҳамма қисмлари қуйма шаклида оддий тайёрланган.



Камчилиги: насосни ишлатишдан олдин иш ғилдиракларини суюқлик билан тўлдириш керак. Фойдали иш коэффициентини юқори эмас  $\eta = 0.6 \dots 0.7$ .

Насоснинг фойдали иш коэффициентини ошириш учун иш ғилдираги билан қобик ўртасига диффузорлар ўрнатилади.

**Пропорционаллик қонуни.** Ғилдиракнинг айланишлар частотаси ўзгарганда насоснинг иш унумдорлиги, напори ва насос истеъмол қиладиган қувват ўзгаради. Ғилдиракнинг бир минутдаги максимал айланишлар частотаси  $n_1$  дан  $n_2$  қадар оширилса, насоснинг иш унумдорлиги  $Q_1$  ҳам  $Q_2$  иш унумдорлигига нисбатан пропорционал равишда ортади:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Суюқликнинг тегишли  $H_1$  ва  $H_2$  напорлари айланишлар частотасининг квадратлари нисбатига пропорционалдир:

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

Насос истеъмол қиладиган қувват  $N_1$  суюқлик сарфи  $Q$  нинг суюқлик босими  $P$  га кўпайтмасига пропорционал бўлганлиги сабабли, ғилдиракнинг бир минутдаги айланишлар частотаси турлича бўлгандаги насоснинг оладиган қуввати  $N_2$  ва  $N_1$  бир минутдаги айланишлар частотасининг кублари нисбатига пропорционал бўлади:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Демак, насос ғилдирагининг айланишлар частотаси ортиши билан унинг иш унумдорлиги биринчи даражада, напори иккинчи даражада, талаб қилинадиган қувват эса учинчи даражада ошади. Аммо амалда пропорционаллик қонуни ғилдирак айланишлар частотасининг икки мартадан кам ўзгарган шароитдагина ўз кучини сақлайди.

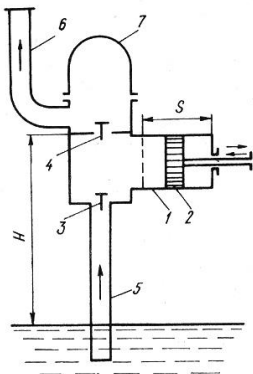
**Кавитация ҳодисаси.** Насос ғилдирагининг тез айланишида ва иссиқ суюқликлар марказдан қочма насослар ёрдамида узатилганда кавитация ҳодисаси юз беради. Бу вақтда насосдаги суюқлик тез буғланади. Ҳосил бўлган буғ суюқлик билан юқори босимли зонага ўтиб тезда конденсацияланади. Натижада насос қобиғида катта бўшлиқ ҳосил бўлади, насос қаттиқ силкинади ва тақиллаб ишлайди. Насос кавитация режимда кўпроқ ишласа у тезда бузилади. Шунинг учун харорати юқори бўлган суюқликларни узатаётганда бу ҳодиса кўшимча кавитацион коэффициент билан ҳисобга олиниши керак.

### **Поршенли ва бошқа турдаги насослар**

Поршенли насосларда суюқлик ҳайдаш трубасига илгариланма-қайта ҳаракат қилувчи механизмлар орқали узатилади. Поршенли насослар воситасида ҳар қандай қовушқоқликдаги суюқликларни узатиш мумкин. Бу насосларда поршень насос қобиғида вертикал ва горизонтал ҳолатда

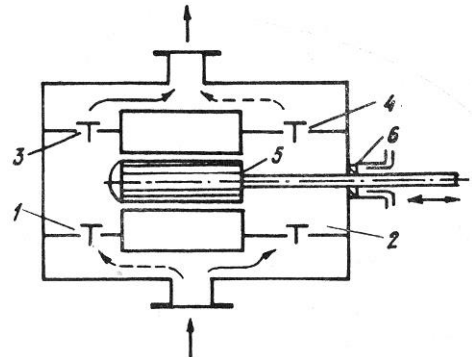
жойлашган бўлиши мумкин. Ишлаш принципага кўра поршенли насослар оддий, икки ва кўп босқичли бўлади.

Поршень суюқликнинг фақат олди томони билан сиқиб чиқарадиган насос оддий бир томонлама ишлайдиган насос дейилади (6.1 - расм).



**6.1-расм. Поршенли насос.**

1-цилиндр; 2-поршень; 3-сўриш клапани;  
4-хайдаш клапани; 5-сўриш трубаси;  
6- хайдаш трубаси; 7-ҳаво қалпоқчаси.



**6.2-расм. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос:**

1,2-сўриш клапанлари; 3,4- узатувчи клапанлар; 5-плунжер; 6- сальник.

Агар насос цилиндрада поршеннинг иккала томонидан жойлашган иш камераси бўлса ва поршень улардан суюқликни кетма-кет сиқиб чиқарса, бундай насос икки босқичли ёки икки томонлама ишлайдиган насос дейилади (6.1 - расм). Оддий поршенли насоснинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз. Насос поршени сўриш жараёнида ўнгга ҳаракатланганда иш камерасининг ҳажми катталашади. Ундаги босим камаяди ва камерада сийракланиш ҳосил бўлади. Натижада суюқлик резервуардан сўриш трубаси бўйлаб цилиндрга кўтарилади ҳамда сўриш клапани очилиб насоснинг иш камераси бўшлиғини тўлдиради. Поршеннинг чапга ҳаракатида поршень цилиндр ва иш камераси бўшлиғини тўлдирувчи бўшлиқга босим беради ва уни хайдаш клапани орқали узатиш трубасига чиқариб беради.

Суюқликнинг ҳаракат тезлиги ва босимларининг пульсацияланишини тенглаштириш ҳамда суюқликнинг сўриш ва хайдаш трубаларида бир меъёрда текис оқишини таъминлаш учун насосга махсус қурилма (ҳаво қалпоқчалари ) ўрнатилади.

Юқори босим ҳосил қилувчи насосларда поршенлар ўрнига цилиндрсимон плунжерлар ишлатилади. Бундай насослар **плунжерли насослар** дейилади.

**Насоснинг иш унумдорлиги.** Поршеннинг бир марта бориб, иш вақти бирлиги ичида насос узатиб берган суюқлик миқдори поршенли насоснинг *иш унумдорлиги* ёки бошқача айтганда *узатилиши* дейилади. Насоснинг ўртача иш  $Q$  унумдорлиги бир секундда ёки соатда тақсимланган ҳажм бирликларида (л/с, м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/соат) ўлчанади. Бир томонлама ишлайдиган насоснинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади.

$$Q = \frac{F - S n}{60} \cdot \eta$$

бу ерда  $F$  – поршеннинг кўндаланг кесим юзаси;  $\eta$  -узатиш коэффициентини;  $S$  – поршень йўли,  $n$  – кривошип шатунли механизмнинг бир минутдаги айланишлар частотаси.

Узатиш коэффициентини суюқликнинг насосдан клапанлар ва бошқа зичмас жойлар орқали сизиб чиқишини, камерага ҳайдалаётган суюқлик билан ҳаво ўтиб, унинг тўлдирилишини камайтиришини ҳисобга олади. Икки томонлама ишлайдиган насосларда цилиндрда шток бўлгани учун уларнинг хажми бироз камаяди. Насоснинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади.

$$Q = \frac{\eta(2F - 1)n \cdot s}{60}$$

бу ерда  $f$  – штокнинг кўндаланг кесим юзаси.

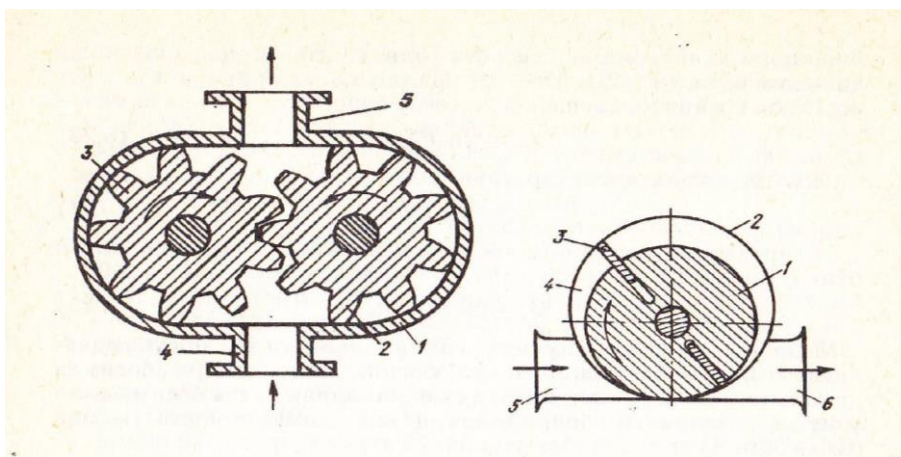
Поршенли насоснинг қуйидаги афзалликларига эга: юқори босим остида ишлаши мумкин, фойдали иш коэффициенти юқори, қовушқоқлиги юқори бўлган ва тез алангаланувчан суюқликларни узатиш мумкин.

Шу билан бирга насослар айрим камчиликларга ҳам эга: бир неча клапанларнинг бўлишлиги, унумдорликни юқори эмас суюқликларни бир меъёردа узатмайди.

Ишлаб чиқаришда суюқликларни узатиш учун марказдан қочма ва поршенли насослардан ташқари махсус насослар ҳам ишлатилади. Махсус насослар қовушқоқлиги юқори бўлган, жуда ифлосланган, чуқур кудукдаги суюқликларни узатиш учун қўлланилади. Махсус насослар сифатида роторли, винтли, оқимли, пропеллерли, газлифт, эрлифтлар ва монтежюлар ишлатилади.

**Роторли насослар.** Қовушқоқлиги жуда юқори, ифлосланган ва узатилиши қийин бўлган суюқликларни узатиш учун роторли насослардан фойдаланилади. Бу насослар поршенли насослардан клапан ва ҳаво қалпоқчаларининг йўқлиги билан фарқланади. Роторли насослар шестерняли ва пластиналли насосларга бўлинади. Саноатда кўпинча шестерняли (тишли) насослар ишлатилади.

Насос қобиғида ўзаро илашган ҳолатдаги узлуксиз айланиб турувчи шестернялар жуфти жойлашган.



6.3 – расм. Шестерняли насос.

6.4 – расм. Пластиналли насос.

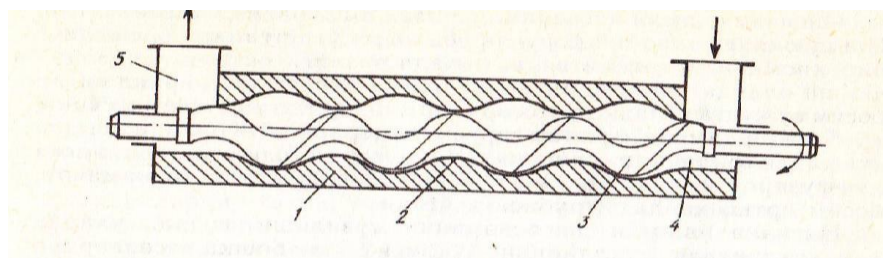
Шестернялар айланганда бир шестернянинг ҳар қайси тиши илашган ҳолатдан чиқиб, иккинчи шестернянинг чуқурчасидаги тегишли хажми бўшатади. Шестерняларнинг кейинги айланишида тишлар орасидаги суюқлик тишлар билан биргаликда сўриш соҳасидан ҳайдаш соҳасига ўтади (6.3–расм).

Ротор насослар конструкциясининг соддалиги, ишончли ишлаши, ўлчамларининг кичиклиги ва арзонлиги билан бошқа насослардан ажралиб туради. Шунинг учун бу насослар саноатда кенг ишлатилади.

**Пластинали роторли насослар.** Бу насосларнинг ишлаш принципи поршенли насослар каби иш бўшлиғи хажмининг камайишига асосланган. Бу насос катта цилиндрдан иборат бўлиб, унинг кенглиги бўйича эксцентрик равишда ротор жойлашган (6.4– расм). Цилиндрнинг ичидаги корпусга тўғри бурчакли пластиналар ўрнатилган. Роторнинг айланиши натижасида бу пластиналар марказдан қочма куч таъсирида цилиндрнинг ички юзасига маҳкам зичланиб, ўроқсимон иш бўшлиғини корпус ва ротор орасидаги камераларга ажратиб туради. Пластиналар сўрувчи патрубкдан насоснинг вертикал ўқи томон ҳаракатланганда ҳар бир камеранинг хажми кенгаяди, натижада камерада сийракланиш ҳосил бўлиб, сўриш патрубкиси орқали суюқлик сўрилади. Пластиналар вертикал ўқдан ротор йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилганда

камеранинг хажми кичиклашади ва суюқлик насосдан сиқиб чиқарилиб, узатиш трубасига берилади. Пластинали роторли насослар тоза ҳолдаги, қовушқоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.

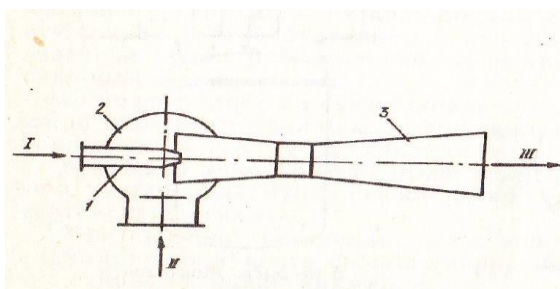
**Винтли насослар.** Бу насослар шестерняли насослар сингари ишлайди. Суюқлик сўриш соҳасидан винт ўйиқларининг ўлчамлари ўртасидаги ораликқа киради ва винтларнинг айланиш ўқи йўналиши бўйича ҳайдаш соҳасига ўтади.



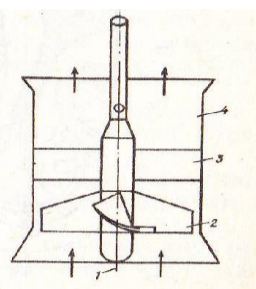
6.5– расм. Винтли насос.

Винтли насос суюқликни бир меъёрда узатади (6.5– расм). Насоснинг вали бевосита двигателнинг валига бириктирилади. Узатилаётган суюқлик миқдорини ошириш учун икки ва уч винтли насослар ишлатилади. Бу насослар ҳам қовушқоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.

**Оқимчали насослар.** Оқимли насоснинг ишлаши иш суюқлигининг кинетик энергиясидан фойдаланишга асосланган. Бу суюқлик насос ҳайдаётган суюқлик билан аралашиб, ўзининг кинетик энергиясининг бир қисмини унга беради ва ҳосил бўлган аралашма тармоққа хайдалади. Иш суюқлиги сифатида буғ ёки сув ишлатилади (6.6 - расм).



6.6 – расм. Ингичка оқимли насос.



6.7 – расм. Пропеллерли насос.

Соплога босими насос ҳосил қиладиган босимдан анча катта бўлган иш суюқлиги берилади. Иш суюқлиги торайиб борувчи саплодан ўтаётганда босимнинг бир қисмини йўқотади ва натижада тезлиги ортади. Соплодан чиқиш олдида иш суюқлигининг оқими атрофида сийраклашган босим вужудга келади, турба орқали хайдалаётган суюқлик сўриш трубаси ёрдамида аралаштиргич камерасига сўрилади ва иш суюқлиги билан аралашади. Шу йўсинда олинган аралашма диффузорга юборилади. У ерда суюқликнинг тезлиги камаяди, босим ортиб ҳайдаш трубасига утади.

Оқимли насосларнинг конструкцияси содда, уларда ҳаракатланувчи деталларни йўқлиги билан бошқа насослардан фарқ қиладди.

Оқимли насосларнинг ФИК юқори эмас, улар тез ишдан чиқади, шу сабабли қиммат турадиган насосларни ишлатиш номақбул бўлган жойларда улардан фойдаланилади.

**Пропеллерли насослар.** Бу насослар кам напорли кўп миқдордаги суюқликларни узатиш учун ишлатилади (6.7 - расм). Пропеллерли насослар кўпинча буғлатиш қурилмаларида суюқликларини циркуляция қилиш учун қўланилади. Бу насосларнинг иш ғилдираклари пропеллер парраклари шаклидаги бир неча винтсимон куракчалардан иборат. Бу насосларни баъзан ўқли насослар ҳам дейилади, чунки суюқлик иш ғилдирагидаги винтсимон куракчалари билан қамраб олиниб, ғилдирак ўқининг йўналиши бўйлаб айланма ҳаракат қиладди.

Насосларнинг тузилиши оддий, ихчам, вазни енгил, ФИК марказдан қочма насосларнинг ФИК ига нисбатан бир мунча юқори. Бундай насослар ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади.

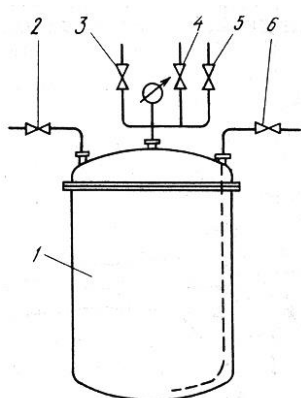
**Монтежю.** Ифлосланган, агрессив ва радиактив суюқликларни сиқилган ҳаво ёки инерт газларнинг энергияси ёрдамида унча юқори бўлмаган баландликка узатиш учун монтежюлар ишлатилади (6.8 - расм). Монтежю вертикал ёки горизонтал цилиндрсимон қопқоқ ёрдамида зич ёпилган бўлиб, қопқоққа учта патрубкка ўрнатилади. Бу патрубкка ёрдамида монтежюга узатилаётган суюқлик, сиқилган ҳаво берилади. Учинчи патрубкка эса монтежю ичидаги узатувчи труба билан бириктирилади.

Агар узатиладиган суюқликнинг буғлари ҳаво билан портловчан, алангаланувчан аралашмалар ҳосил қилса, бунда сиқилган ҳаво ўрнига инерт газлар ишлатилади.

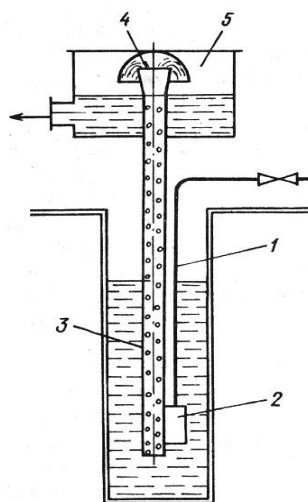
Монтежюнинг тузилиши оддий, яшаш осон, ҳаракатланувчи қисмларининг йўқлиги сабабли коррозияга учрамайди. Қурилма тез едирилиб ишдан чикмайди.

**Газлифт.** Газлифт чуқур кудуқлардаги суюқликларни юқорига кўтариш ҳамда кимё саноатидаги баъзи жараёнларда газ билан суюқлик ўзаро таъсир қилганида, уларнинг аралаштириш циркуляциясини тезлаштириш учун ишлатилади.

Агар газлифт суюқликни циркуляция қилиш учун ишлатилса, у ҳолда қурилманинг ичига унинг ўқи бўйлаб икки томони очик бўлган вертикал труба туширилади. Трубанинг суюқликка ботирилган пастги қисмидан соплло орқали сиқилган газ берилади. Трубада юқорига узатилиши керак бўлган газ массаси



**6.8-расм. Монтежю.** 1- идиш; 2-суюқлик кирадиган кран; 3-сиқилган газ бериладиган кран; 4-атмосфера билан боғланадиган кран; 5-вакуум билан боғланувчи кран; 6-узатиш трубасининг крани.



**6.9-расм. Эрлифт.** 1-ҳаво ёки газ берадиган труба; 2- газ тақсимлагич; 3- кўтариш трубаси; 4- томчи ушлагич; 5- суюқлик йиғиладиган идиш.

пуфакчалар ҳолида суюқликни ҳам ўзи билан илаштиради ва ҳосил бўлган газ-суюқлик эмульсияси оқимлари юқорига қараб кўтарилади. Трубанинг юқори қисмида газ суюқликдан ажралиб, қурилмадан чиқиб кетади. Суюқлик трубанинг юқори қисмидан қурилмага қайтиб тушади ва яна газ оқими билан трубада юқорига қараб кўтарилади.

Газ ва суюқлик аралашмаси кўтарилиш трубасида 7 м/с тезлик билан ҳаракат қилади. Кўтарилиш трубасининг максимал баландиги 30-35 м. Газлифтнинг ФИК юқори эмас,  $\eta = 0,15 \dots 0,30$ .

**Эрлифт.** Уларнинг ишлаши туташ идишларнинг ишлаш принципига асосланган. Эрлифт кўтариш тарубасидан сиқилган ҳаво берувчи труба ва аралаштиргичдан иборат (6.9 - расм). Труба орқали берилган сиқилган ҳаво аралаштиргичда суюқлик билан аралашиб, ҳосил бўлган суюқлик ва газ аралашмасининг солиштирма оьирлиги идиш ичидаги суюқликга нисбатан паст бўлганлиги учун кўтарилиш трубасида юқорига қараб кўтарилади.

Суюқлик ва юз аралашмаси кўтарилиш трубасидан чиқаётганда ажратгичга урилиб, газ ажралиб чиқади ва суюқлик йиғичга тушади.

Эрлифтлар ҳар хил суюқликлар, кислота, ишқорларни юқорига кўтариш учун ишлатилади. Уларнинг тузилиш оддий, ортикча механизми ва

ҳаракатланувчи қисмлари йўқ, ҳамда юқори ҳароратда ҳам ишлайверади. Эрлифтнинг ФИК кичик ( $\eta=0,25\div 0,35$ ). Унумдорлиги ҳам кам, сиқилган ҳаво бериш учун ортиқча компрессор қурилмалари талаб қилинади.

**Насосларни танлаш.** Санаотнинг барча ишлаб чиқариш тармоқларида суyoқликларни узатиш учун марказдан қочма насослар ишлатилади. Чунки бу насослар бошқа насосларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга:

а) массаси енгил, ихчам, тайёрлаш учун кам металл сарфланади; б) унумдорлиги юқори, суyoқликларни бир меъёра узатади; в) бошқариш ва тузатиш осон ҳамда тўғридан-тўғри ёрдамчи механизмларсиз электр двигателга уланади; г) сўриш ва ҳайдаш клапанлари бўлмагани учун ифлосроқ суyoқликларни узатиш мумкин; д) узoқ муддат давомида ишончли ишлайди.

Юқоридаги босимли кам миқдордаги суyoқликлар ҳамда қовушқoқлиги юқори, осон алангалувчан суyoқликларни узатиш учун поршенли насослар ишлатилади.

Паст босимли кўп миқдордаги ифлосланган кристалланувчи суyoқликларни узатиш учун пропеллерли насослар танланади. Чунки бу насосларнинг фойдали иш коэффиценти юқори, гидравлик қаршилиги кам ва ишлаши ихчам. Бу насослар воситасида ифлосланган, кристалланувчи суyoқликлар узатилади. Қовушқoқлиги юқори, майда каттик зарррачалар аралашмаган кам миқдордаги суyoқликларни катта босимда узатиш учун шестерняли (тишли) насослар қўлланилади.

Унумдорлиги паст ва кам напорли тоза суyoқликларни узатиш учун пластинали насослар ишлатилади. Қовушқoқлиги юқори, нефть маҳсулотларини, агрессив ҳамда ифлосланган суyoқликларни узатиш учун винтли насослар қўлланилади. Винтли насослар қуйидаги афзалликларга эга: ишланиши ихчам, тез айланади ва шовқинсиз ишлайди. Босимнинг ўзгариши билан винтли насосларни унумдорлиги ўзгармайди.

Узатилиш жараёнига ҳаракатланувчи ва силкинувчи қисмларнинг салбий таъсири бўлса, оқимли насослар, газлифтлар ва эрлифтлар ишлатилади, бу насосларнинг ФИК жуда паст.

### **Назорат саволлари**

1. Поршенли насоснинг тузилиши ва иш принципини тушинтиринг.
2. Махсус насосларнинг қандай турларини биласиз?
3. Роторли насослар қандай насосларга бўлинади?
4. Винтли ва оқимчали насосларнинг асосий фарқини айтинг?
5. Монтежю ва эрлифтлар ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор.
6. Поршенли ва плунжерли насосларнинг ўхшашлиги нимадан иборат?
7. Кавитация ҳодисасини тушунтириб беринг.
8. Бир томонлама ишлайдиган насоснинг иш унумдорлиги қандай тенглама орқали аниқланади?
9. Поршенли насосларни афзалликлари?
10. Эрлифтлар қандай мақсадларда ишлатилади?



## 7 - Маъруза

### Мавзу: Газларни сиқиш ва узатиш

#### Режа:

1. Умумий тушунчалар
2. Вентиляторлар.
3. Поршенли ва роторли компрессорлар.
4. Вакуум насослар.
5. Компрессорларни танлаш.

**Таянч сўзлар ва иборалар:** компрессор, сиқиш, даражаси, типлари, турлари, тенглама, газларни сиқиш, қувват, поршенли, пластиналар, сув ҳалқачали, газодувка, вентилятор, босим, гилдирак, қувват, турбокомпрессор, турбогазодувка, вакуум насос, поршенли, оқимли, роторли, насосларни танлаш, афзаллиги, компрессорларни танлаш.

#### Умумий тушунчалар

Кимё саноатида газларни трубалар орқали узатиш ва сийраклантириш учун улар сиқилади. Бу сиқилган газлар суюқликларни аралаштириш, сочиб бериш учун ишлатилади. Газларни сиқиш ва узатиш учун компрессорлар ишлатилади.

Сиқилган газ босими  $P_2$  нинг сиқилмаган газ босими  $P_1$  га нисбати сиқиш даражаси дейилади. Сиқиш даражаси катталигига қараб компрессор машиналар қуйидаги турларга бўлинади:

1. Вентиляторлар ( $P_2 / P_1 = 1,1$ ) - кўп миқдордаги газларни узатиш учун ишлатилади.
2. Газодувкалар ( $1,1 < P_2 / P_1 < 3$ ) - газ трубаларида катта қаршилик бўлганда ишлатилади.
3. Компрессорлар ( $P_2 / P_1 > 3$ ) - юқори босим ҳосил қилиш учун ишлатилади.
4. Вакуум насослар - босими атмосфера босимидан паст бўлган газларни сўриш учун ишлатилади.

Ишлаш принцигига кура компрессорлар хажмий ва парракли бўлади.

Хажмий компрессорларда газ босими унинг хажмини мажбурий камайтириш хисобига ортади. Улар трубокомпрессорлар ҳам дейилади ва марказдан қочма куч таъсирида ишлайдиган вентилятор ва турбогазодувкаларга бўлинади.

Поршенли компрессорлар кам миқдордаги газларни катта босимларгача сиқишда ишлатилади. Трубокомпрессорлар эса аксинча, катта миқдордаги газларни нисбатан паст босимларда узатиб беришга мулжалланган.

**Газ ҳолатининг тенгламаси ва термодинамик диаграммалар.** Газ сиқилиш жараёнида унинг хажми, босими ва ҳарорати ўзгаради. Бу учала катталикларнинг ўзаро боғланиши газнинг босими 1 МПа гача бўлган газларнинг ҳолат тенгламаси билан ифодаланади.

Юқори босимларда газнинг босими, хажми ва ҳарорати орасидаги боғланиш Вандер-Ваалрс тенгламаси билан ифодаланади:

$$(P + a/b^2) (v - b) RT$$



бу ерда  $P$  - газ босими, н/м<sup>2</sup>;  $V$ -газнинг солиштирма хажми, м<sup>3</sup>/кг;  $R$ -газларнинг универсал константаси, Ж/кг;  $T$  - ҳарорат, К.

$a$  ва  $b$  коэффициентлар бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$a = \frac{27R^2T_{кр}^2}{64P_{кр}} \quad b = \frac{RT}{8P_{кр}}$$

Амалий ҳисоблашларда термодинамик диаграмма, яъни тажрибалар асосида қурилган  $T$ - $S$  диаграмма қулай ва ишончлидир. Диаграммада ордината ўқига абсолют ҳарорат ва абсцисса ўқига энтропиянинг қийматлари қўйилади.

Бу нуқталарни бирлаштирувчи эгри чизик газнинг жараён бошланишидан ва охиридаги мувозанат ҳолатни белгилайди. Эгри чизикнинг кўриниши жараённинг кетиш характериға боғлиқ.

Газларни сиқиш натижасида унинг хажми, босими ўзгариши билан ҳарорати кўтарилиб, иссиқлик ажралиб чиқади. Назарий жиҳатдан газ икки хил жараёнда сиқилади. Сиқиш вақтида ажралиб чиққан иссиқлик ташқи муҳитға тортиб олинса **изотермик**, агар фақат газни иситиш учун сарфланса **адиабатик** жараён дейилади.

Изотермик жараёнда иссиқлик ажратиб олиниб турилгани учун, газнинг ва жараённинг ҳарорати ўзгармас бўлади. Адиабатик жараёнда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайди. Ҳақиқатда эса сиқиш вақтида ажралган иссиқликнинг бир қисми ташқи муҳитға тарқалади ва қолган қисми газни иситишға сарфланади.

Газларни иссиқдан талаб қиладиган қувват (идишдан) сиқишдаги иш миқдори унинг унумдорлигига кўпайтмасига тенг бўлади.

Изотермик жараён учун:

$$N_{из} = \frac{l_{из} Q_c \rho}{1000 \eta_{из} \eta_{мех}}$$

Адиабатик жараён учун:

$$N_{ад} = \frac{l_{ад} Q_c \rho}{1000 \eta_{ад} \eta_{мех}}$$

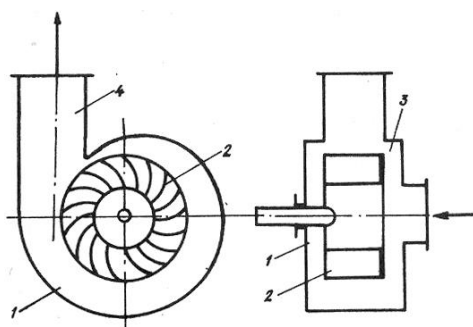
## Вентиляторлар

Марказдан қочма машиналар вентиляторлар, турбокомпрессорлар ва турбогазодувкларға бўлинади.

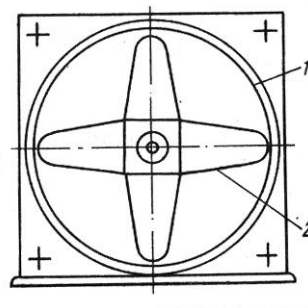
**Вентиляторлар.** Газни паст босимда узатиш учун мўлжалланган машиналар **вентиляторлар** дейилади. Улар ишлаш принципига кўра марказдан қочма ва ўқли бўлади. Марказдан қочма вентиляторлар газни нисбатан юқори босимларда узатиб бориш учун, ўқли вентиляторлар эса кичик босимларда лекин кўп миқдордаги газни узатиш учун мўлжалланган. Саноатда ўқли вентиляторлар кам ишлатилади, улардан фақат биноларни совитишда фойдаланилади. Марказдан қочма вентиляторлар босимининг катталигига қараб уч гуруҳға бўлинади:

1. Паст босимли ( $p < 10^3 \text{ н/м}^2$ )
2. Ўрта босимли ( $P = 10 - 3 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$ )
3. Юқори босимли ( $P = 3 \cdot 10^3 - 10^4 \text{ н/м}^2$ )

Марказдан қочма вентиляторнинг асосий қисми парраклар ва спиралсимон қобик ичига жойлаштирилган иш парраклари бор ғилдиракдир. Иш ғилдираги айланганда вентиляторнинг иш бўшлиғидаги ҳаво ёки газ ғилдирак билан бирга айланади ва марказдаги қочма куч таъсирида ғилдиракнинг чеккаларига ҳайдалади. Газ ғилдирак парракларидан спиралсимон камерага ва ундан ҳайдаш трубасига ўтади. Паст босимда ишлайдиган вентиляторларда иш ғилдирагидаги парраклар орқа томонга эгилган, юқори босимда ишлайдиганларида эса олди томонга эгилган бўлади. Шу ғилдиракдаги парраклар сонини ўзгартириб паст босимли вентиляторлардан ўрта босимли вентиляторлар ҳосил қилиш мумкин.



7.1-расм. Марказдан қочма вентилятор.



7.2 –расм. Ўқли вентилятор.

Вентиляторлар газларнинг бир меъёрда узатади, аммо фойдали иш коэффиценти поршенли насосларга нисбатан кам.

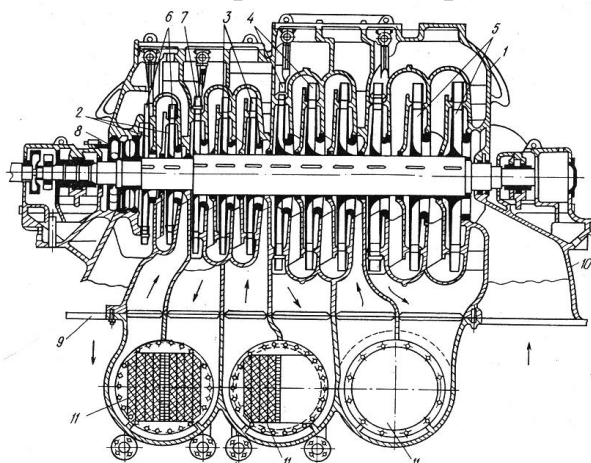
**Ўқли вентиляторлар** (7.2-расм) корпуси қисқа цилиндр шаклида бўлиб, унга ишчи ғилдирак ўрнатилган бўлади. Ишчи ғилдиракка винтсимон юза бўйлаб эгилган куракчалар – пропеллерлар ўрнатилади. Ишчи ғилдиракнинг айланиши пайтида куракчалар газни қамраб олади ва уни ғилдирак ўқи бўйлаб узатади. Парраклар юзасига газни ишқаланиш қаршилиги сезиларсиз ва вентиляторнинг газ оқимиغا кўрсатадиган қаршилиги кичик бўлганлиги учун ўқли вентиляторларнинг ф.и.к. юқори (0.6÷0.9) бўлади.

Ўқли вентиляторларнинг босими, марказдан қочма типдаги вентиляторларга нисбатан, 3÷4 мартаба кичик. Шу сабабдан, ўқли вентиляторлар гидравлик қаршилиги кичик бўлган узатиш тармоқлари бўйлаб катта миқдорлардаги газларни сўриш учун қўлланилади. Ўқли вентиляторлар ихчам ва реверсив (икки томонлама йўналиш бўйича) айланиш қобилиятига эга.

Газларни юқори даражада сиқиш учун турбокомпрессор ва турбогазодувкалар ишлатилади.

**Турбокомпрессорлар.** Турбокомпрессорларда сиқиш жараёни совитиш билан боради. Газни сиқиш жараёни компрессор ғилдиракларининг парраклар аро каналларида ва сўнгра, кўзғалмас каналлар (диффузор)да содир бўлади. Иш ғилдирагининг парракларида газнинг олган кинетик энергияси кўзғалмас

каналларда тормозланиши натижасида сиқилган газнинг потенциал энергиясига айланади. Трубокомпрессор ғилдираги айланишлар тезлигининг ортиши билан унинг сиқиш даражаси ҳам ортади.



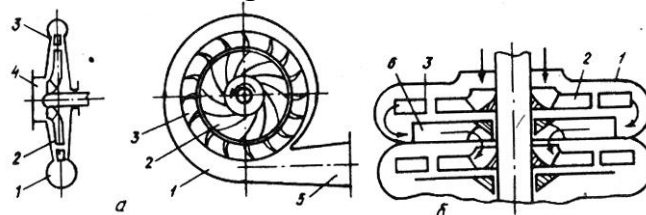
7.3 –расм. Кўп босқичли трубокомпрессор.

Лекин иш ғилдираги айланишлар тезлигининг миқдори ғилдирак материалининг мустаҳкамлиги туфайли чекланган бўлади ва шунга мувофиқ равишда бир босқичда сиқиш босимининг кўтарилиши ҳам чекланган. Шу сабабли газнинг юқори босимларини ҳосил қилиш учун айланишлар частотаси йўл қўйилган қийматидан ортмайди, бунда кўп босқичли сиқиш усулидан фойдаланилади.

Кўп босқичли насосларда ғилдиракларнинг катталиги бир хил бўлса, трубокомпрессорларда сиқилган газ босимининг кўтарилиши билан ғилдиракларнинг катталиги кичиклашиб боради. Кўп босқичли компрессорлар ёрдамида 1,5-1,6 мПа гача босим ҳосил қилинади.

Турбокомпрессорларда газлар бир меъёрда узатилади, ammo фойдали иш коэффиценти поршенли компрессорларга нисбатан камроқ.

**Турбогазодувкалар.** Босими камроқ бўлган кўп миқдордаги мойли, ёғ аралашган газларни узатиш учун турбогазодувкалар ишлатилади. Валдаги иш ғилдиракларининг сонига қараб улар бир ва кўп босқичли бўлади. Уларнинг корпусидаги параккли иш ғилдираклари худди марказдан қочма насосларникига ўхшаш айланма ҳаракат қилади.



7.4 – расм. Турбогазодувкалар.

Газ турбогазодувкалар сўриш патрубкеси орқали кириб, сиқилган газ ҳайдаш патрубкеси орқали узатилади.

Кўп босқичли турбогазодувкаларда иш ғилдиракларининг сони 3-4 та бўлади. Буларда газ биринчи иш ғилдирагидан йўналтирувчи қурилма ва қайтма канал орқали кейинги иш ғилдирагига ўтади. Турбогазодувкаларда газ 0,3 ... 0,35 мПа босимга сиқилади, шунинг учун газ совитилмайди.

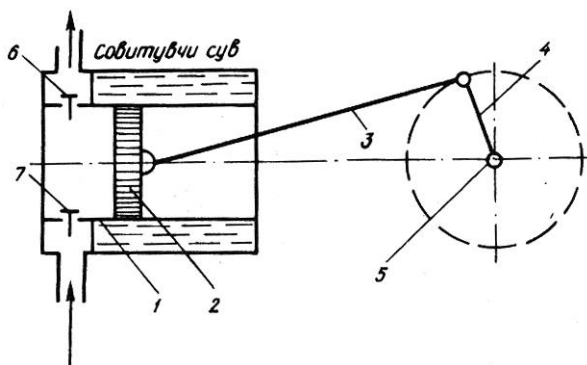
### Ёдда тутинг!

Марказдан қочма вентиляторлар босимининг катталигига қараб уч гуруҳга бўлинади:

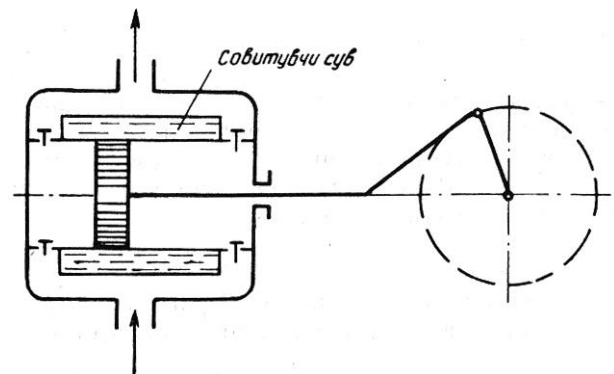
1. Паст босимли.
2. Ўрта босимли.
3. Юқори босимли

## Поршенли ва роторли компрессорлар

**Поршенли компрессорлар.** Поршень цилиндрда ўнгга ва чапга кривошип механизм ёрдамида илгариланма-қайтма ҳаракат қилади. Поршень цилиндрнинг ички деворига зич қилиб ўрнатилади ва цилиндр бўшлиғини икки қисмга бўлиб туради. Поршень чапдан ўнгга томон илгариланма ҳаракат қилганида сўриш клапани очилиб цилиндр газга тўлади, орқага қайтганида эса цилиндрдаги газнинг сиқилиши натижасида босим орта бориб, узатилиш йўлидаги босимга тенг бўлганда, узатувчи клапан очилиб газ узатила бошланади. Газ сиқилганда унинг ҳарорати кўтарилади, қизиган газ ёглаб турувчи мойни куйдириб юбормаслиги учун цилиндрнинг девори узлуксиз сув билан совитилиб турилади.



7.5-расм. Бир томонлама ишлайдиган ишлайдиган компрессор.



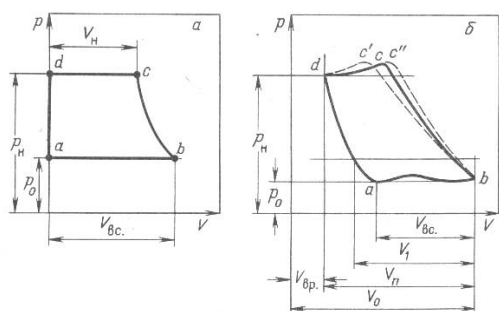
7.6 – расм. Икки томонлама компрессор.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлиги кам бўлганлиги учун икки томонлама ҳаракатланувчи поршенли компрессорлар кўп ишлатилади. Бу компрессорларда цилиндрдаги газ поршеннинг иккала қисмида (чап ва ўнг) сиқилади; уларда иккита сўриш ва иккита узатиш клапани бор. Поршень кривошип - шатунли механизм ёрдамида илгариланма ҳаракат қилади. Вал бир марта айланганида цилиндрга газ икки марта сўрилади ва икки марта узатилади. Компрессорнинг унумдорлиги бир томонлама ишлайдиган компрессорникига қараганда деярли икки марта кўп.

Бир босқичли компрессорларнинг унумдорлигини ошириш ҳамда газларнинг сиқилиш даражаси 0,4... 0,6 МПа бўлиши учун кўп цилиндрли бир ва икки томонлама сиқадиган компрессорлар ишлатилади. Бу компрессорларда газ биринчи цилиндрдан кейинги цилиндрга ўтгани сари босими кўтарилиб боради. Компрессорларнинг поршени умумий бир иш валига ўрнатилган. Газнинг сиқилиши натижасида унинг ҳарорати бир цилиндрдан иккинчи цилиндрга ўтганида ортиб боради. Шу сабабли иккита цилиндр орасига совиткичлар ўрнатилади.

**Индикатор диаграмма.** Поршенли насосларни текшириш учун индикатор диаграммаси олинади. Бунда компрессорнинг тирсақли ўқи бир марта айланганда, босим ва узатилган газ ҳажми орасидаги боғлиқлик қурилади. 7.7-расмда бир томонлама, бир босқичли компрессорнинг назарий  $p-V$  диаграммаси кўрсатилган. Назарий компрессорда диаграммадаги  $b$  ва  $d$  нукталарга мос келадиган ҳолатларда цилиндр қопқоғига яқин келади ва газни

сўриш жараёни узатиш тамом бўлиши билан бошланади. Диаграммада сўриш жараёни  $ab$ , сиқиш  $bc$  ва узатиш  $cd$  чизиклар билан тасвирланади.



7.7-расм. Индикатор диаграммалари.  
а-назарий; б-ишчи.

Ҳақиқий компрессорда сиқиш жараёни (7.7-расм) назарий сиқишдан анча фарқ қилади. Цилиндр қопқоғи ва поршеннинг орасида доимо бўш ҳажм ҳосил бўлади ва у «зарарли бўшлиқ» деб номланади. Бу бўшлиқда узатиш ва сиқишдан жараёнидан сўнг поршен орқага қайтганда, газ кенгайди ва сўриш клапани очилади, яъни поршен маълум бир ораликда  $a$  нуктагача бекор ҳаракатланади. Бунинг

оқибатида компрессор унумдорлиги пасаяди, «зарарли бўшлиқ» цилиндрнинг иш ҳажмига нисбатан улушларда олинади:  $\varepsilon \cdot V$  (бу ерда  $\varepsilon$ -зарарли бўшлиқ ҳажмининг поршен ҳаракати туфайли ҳосил бўлган фойдали ҳажмга нисбати тенг) одатда, «зарарли бўшлиқ» цилиндр ҳажмининг 3...5% ни ташкил этади.

7.7-расмда  $bc'$  ва  $bc''$  сиқиш чизиклари мос равишда изотермик ва адиабатик жараёнларни характерлайди. Ушбу диаграммадаги юзалар сиқиш жараёнида бажарилган ишни англатади, яъни изотермик сиқишда бажарилган иш энг кичик бўлса, адиабатикда энг катта қийматга эга бўлади.

Реал шароитда сиқиш жараёни ( $bc$  чизик) политроп жараёнда амалга ошади. Бунда, ажраб чиқаётган иссиқликнинг бир қисмигина атроф муҳитга тарқалади.

Поршенли компрессорларнинг унумдорлиги вақт бирлиги ичида узатилган газ ҳажмига тенг:  $V_c = \lambda V_{\pi}$   
бу ерда  $V_{\pi}$  - сўрилаётган газнинг ҳажми,  $\lambda$  - узатиш коэффициенти.

$$\lambda = \lambda_0 \lambda_T \lambda_{\Gamma}$$

Бир томонлама сиқувчи компрессорнинг ҳақиқий иш унумдорлиги ( $m^3/\text{сек}$ ) куйидаги тенглама ёрдамида ҳисоланади:

$$Q = \lambda F S n / 60, \quad (7.1)$$

бу ерда  $\lambda$ - узатиш коэффициенти;  $F$ - поршеннинг қўндаланг кесим юзаси,  $m^2$ ;  $S$ - поршень йўлининг узунлиги,  $m$ ;  $n$ - кривошипнинг айланиш частотаси,  $\text{мин}^{-1}$ .

Узатиш коэффициентининг қиймати  $\lambda = (0.8 \div 0.95) \lambda_0$  чегараларда қабул қилинади.

Компрессорнинг ҳажмий фойдали иш коэффициенти куйидаги тенглама бўйича ҳисобланади

$$\lambda_0 = 1 - \varepsilon_0 [(P_2/P_1)^{1/m} - 1], \quad (7.2)$$

бу ерда  $\varepsilon_0 = V_k/V_1 = 0.03 \div 0.08$ ;  $V_k$ - цилиндрдаги бўшлиқнинг қолдиқ ҳажми;  $V_1$ - поршеннинг цилиндрда силжиши туфайли ҳосил бўладиган ишчи ҳажм;  $m = 1.2 \div 1.35$ - қолдиқ ҳажмдаги сиқилган газнинг кенгайишини политропик кўрсаткичи.

Кўп босқичли компрессорларнинг иш унумдорлиги уларнинг биринчи босқичини иш унумдорлиги билан аниқланади.

Поршенли компрессорларнинг фойдали иш коэффиценти юқори бўлиб, улар ёрдамида газларни кенг интервалда, 100 МПа гача сиқиш мумкин. Мазкур машиналарнинг асосий камчилликлари - газларни бир меъёрда узатиб бўлмаслиги, иш унумдорлигининг пастлиги ва клапанларнинг кўплигидир.

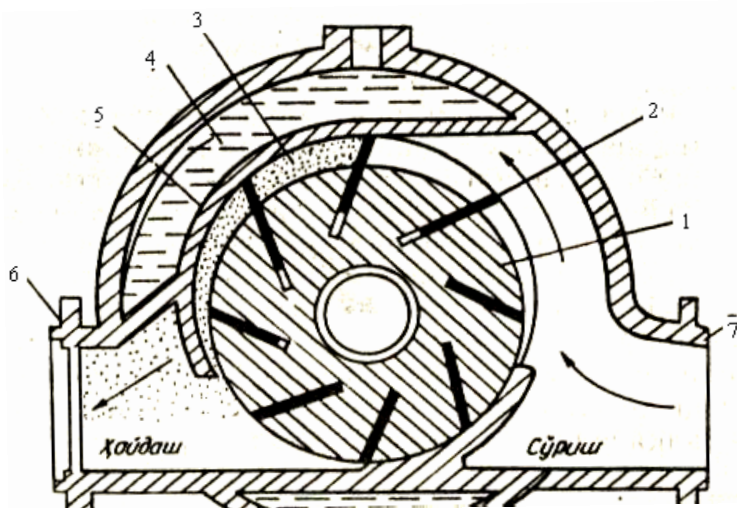
**Роторли компрессорлар.** Бу компрессорлар ҳам поршенли компрессорлар сингари, иш бўшлиги хажмининг камайиши принципида ишлайди. Роторли компрессорлар конструктив белгиларга кура пластиналар, юмалайдиган роторли, сув ҳалқали, газодувка ва икки роторли компрессорларга бўлинади.

**Пластиналар компрессор.** Бу компрессор худди пластиналар насослар каби ишлайди, улар бир босқичли ва икки босқичли бўлади. Пластиналар роторли компрессорнинг сўриш вақтидаги унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$Q = 2L e n \lambda (\pi D - \delta z) \quad (7.3)$$

бу ерда  $L$ - пластиналар узунлиги, м;  $e$ - роторнинг эксцентриситети, м;  $n$ - роторни айланишлар частотаси,  $s^{-1}$ ;  $D$ - насос корпусининг ички диаметри, м;  $\delta$ - пластина қалинлиги, м;  $z=30\div 40$ - пластиналар сони;  $\lambda$ - узатиш коэффиценти. Одатда  $e/D = 0,06\div 0,07$ .

Бир босқичли роторли пластиналар компрессорларда газлар 0,25-0,5 МПа босимгача, икки босқичлиларда эса 0,8-1,5 МПа босимгача сиқилади. Бундай компрессорлардан паст босим ва катта унумдорлик олиш мақсадида фойдаланилади.



**7.8- расм. Пластиналар роторли компрессор схемаси.** 1- ротор; 2- пластина; 3- ишчи бўшлиқ; 4- совутовчи сув камераси; 5- қобик; 6- ҳайдаш патрубкиси; 7- сўриш патрубкиси.

Компрессор корпусининг ички юзасига нисбатан унинг ротори муайян эксцентриситет билан жойлаштирилади. Роторнинг ўйиқларига (пазларига) радиал йўналишда эркин суриладиган пластиналар жойлаштирилган. Пластиналар ротор ва корпус орасидаги ўроқсимон конструктив бўшлиқни бир нечта ўзаро тенг бўлмаган, ўзгарувчан ишчи хажмларга ажратади.

Сўриш патрубкиси худудида пластиналар марказдан қочма куч таъсирида роторнинг ўйиқларидан сурилиб чиқади ва корпус деворларига куч билан зичланади. Бу пайтда газ икки пластина орасидаги бўшлиққа киради. Ротор маълум бир бурчаккача бурилганда пластиналар энг юқори нуқтага интилади.

Бу пайтда бўшлиқнинг ишчи ҳажми аста-секин ортиб боради. Роторнинг келгуси бурчакларга бурилиши пазлардан тўла чиққан пластиналарни ўйиқларга қайта киришига сабаб бўлади. Натижада, пластинкалар орасидаги ишчи ҳажм аста-секин кичрайиб боради. Бу ҳажмни тўлдирган газнинг босими ортиб, ҳарорати кўтарилади.

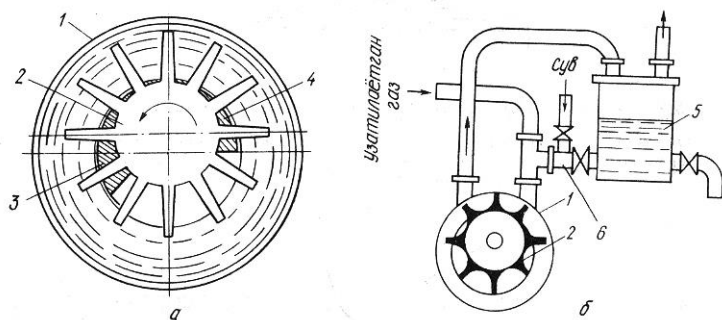
Роторнинг кейинги бурилишлари давомида ишчи ҳажм ҳайдаш патрубкеси бўшлиғи билан туташади ва бу ердан сиқилган газ ресиверга, ундан эса ҳайдаш тармоғига ўтади. Шундан сўнг иш цикли қайтарилди.

Компрессорларнинг ишлаши вақтида қобиғининг деворлари қизиб кетмаслиги учун у сув билан совутиб турилади.

Роторли компрессорларнинг поршенли компрессорларга нисбатан қуйидаги афзалликлари бор: 1) ўлчамлари ва оғирлиги кичик, поршенли компрессорга нисбатан кам жой эгаллайди; 2) кривошип-шатунли механизм бўлмагани учун анча раван ишлайди; 3) айланишлар частотаси катта, компрессорнинг ҳаракатга келтириш учун уни бевосита электр двигателига улаш мумкин; 4) конструкцияси оддий деталлари сони кам ва арзон.

Лекин роторли компрессорларнинг поршенли компрессорларга нисбатан муҳим камчиликлари ҳам бор: 1) ФИК кичик; 2) деталлари ниҳоятда аниқ ишланиши туфайли уларни тайёрлаш технологиячи анча мураккаб; 3) сиқилган газнинг босими катта эмас; 4) бир таъмирлашдан кейинги таъмирлашгача ишлаш муддати қисқа.

**Сув ҳалқачали компрессорлар.** Компрессорнинг қобиғида эксцентрик ҳамда ясси куракчалари бўлган ротор жойлашган (7.9 - расм). Компрессорни ишга туширишдан олдин унинг яримигача сув қуйилади. Ротор айланганида сув атрофига сочилиб, компрессорнинг қобиғи билан роторга нисбатан эксцентрик сув ҳалқачалари ҳосил қилади. Ҳажмдаги куракчаларнинг пастки қисми сув ҳалқачаларидаги суюқликка ботиргунча компрессорларга сув қуйилади. Ротор

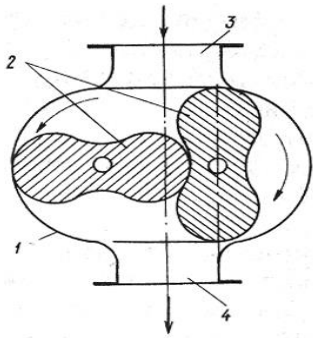


**7.9 – расм.**

**Сув ҳалқачали компрессор.**

- a* - компрессорнинг тузилиши;
- б* – газларни узатиш қурилмаси.
- 1 – қобик; 2 – ротор; 3 – узатувчи тешик; 4 – сўриш тешиги; 5 – идиш;
- 6 – компрессорни сув билан тўлдирувчи қуйилиш трубаси.

куракчалари билан сув ҳалқачалари орасида ячейкалар ҳосил бўлади. Ячейкаларнинг ҳажми роторнинг биринчи ярим айланишида кенгаяди, иккинчи ярим айланишида эса тораяди. Ячейканинг ҳажми кенгайганда газ сўрилади ва роторнинг кейинги айланишида ячейканинг ҳажми торайиши натижасида газ сиқилиб узатиш патрубкеси 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.



7.10 – расм.

**Ротацион газодувка.**

1-қобик; 2-ротор;  
3 ва 4 – сўриш ва узатиш  
патрубккалари.

**Газодувкалар.** Газодувканинг қобиғида иккита параллел валда барабанлар ёки поршенлар жуфти айланма ҳаракат қилади. Барабанларнинг биттаси электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракат, иккинчиси эса унга тишлари билан илашиб ҳаракат қилади (7.10 - расм). Барабанлар бир-бирига қарама-қарши йўналишда айланма ҳаракатда бўлади. Барабанлар айланганида бир-бирига ва қобик деворига зич жойлашиб, иккита бир бирдан ажратилган камера ҳосил қилади. Пастки камерада вакуум ҳосил бўлиб унга газ сўрилади, юқориги камерада газ сиқиб чиқарилади.

Газодувкалар минутига 2-800 м<sup>3</sup> гача ҳаво узатади. Узатиш коэффиценти 0,8; умумий фойдали иш коэффиценти 0,6-0,7. Газодувкаларнинг тузилиши содда, ихчам, клапанлари бўлмаганлиги учун уларда газ бир меъёрда узатилади. Лекин юқори босим ҳосил қилмагани сабабли кам ишлатилади.

**ВАКУУМ НАСОСЛАР**

Кимё технологиясининг кўпчилик жараёнлари атмосфера босимида ва сийракланиш муҳиtida олиб борилади. Бу шароитларнинг қўлланилиши кимёвий реакцияларнинг олиб бориш шароитига боғлиқ. Кайнаш жараёнини паст ҳароратда олиб бориш учун вакуум ишлатилади. Вакуум ҳосил қилувчи машиналар **вакуум насослар** дейилади.

Вакуум насосларда газлар жуда паст атмосфера босимида сўрилади ва атмосфера босимига нисбатан каттароқ қийматда узатилади.

Конструктив жиҳатдан вакуум насослар компрессорлардан сиқилиш даражасининг катталиги билан фарқ қилади. Вакуум насосларда газларнинг сиқилиш даражаси жуда юқори бўлади. Сиқилиш даражасининг юқори бўлиши сабабли вакуум насоснинг хажмий коэффиценти ва унумдорлиги бирдан камаяди.

Вакуум-насосларни компрессорлардан конструктив фарқини белгиловчи кўрсаткичи, бу улардаги сиқиш даражасининг юқорилигидир.

Масалан, вакуум-насос газ (ҳаво)ни 0,05 атмосфера босимида сўриб олса (сийракланиш 95%) ва уни насосдан чиқишида 1,1 ат гача сиқади (ортиқча босим 0,1 ат га тенг бўлиб, у турли қаршилиқларни енгиш учун сарфланади). Бу ҳолда насоснинг сиқиш даражаси:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1,1}{0,05} = 22$$

га тенг бўлади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, бир босқичли поршенли компрессорларда сиқиш даражаси 8 дан ошмайди.

Бундай юқори сиқиш даражаси билан вакуум-насоснинг хажмий коэффиценти ва унумдорлиги бирдан пасайиб кетади. Шунинг учун насоснинг ишчи ҳажмидан тўлиқ фойдаланиш учун ««зарарли бўшлиқ»» бўшлиғини минимумга туширишга ҳаракат қилинади. Шу мақсадда вакуум-насоснинг кўпгина турларида, мисол учун, поршенли ва ротор пластинали насосларда



босимни текислаш усули қўлланади ва бунда вакуум-насосларнинг узатиш коэффициенти  $\lambda_v < 0,8 \dots 0,9$  га тенг бўлади.

**Поршенли вакуум насослар.** Булар куруқ ва суюқлик насосларига бўлинади. Куруқ вакуум насослар газларни сўриб ташқарига чиқариб ташлаш учун, суюқлик вакуум насослари эса бир вақтнинг ўзида газ ва суюқликларни сўриб ташлаш учун ишлатилади. Куруқ вакуум насосларни тузилиши конструктив жиҳатдан худди поршенли компрессорларга ўхшайди.

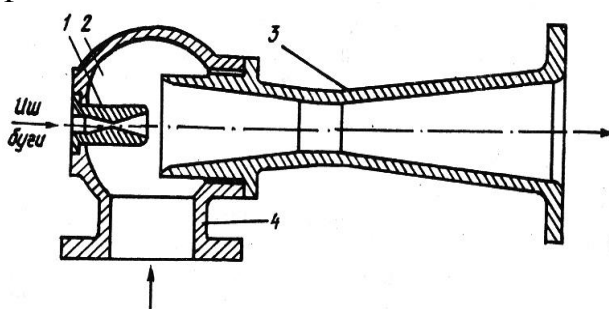
Суюқлик вакуум насосларида ортиқча миқдордаги суюқликни чиқариб ташлаш мақсадида сўриш ва ҳайдаш клапанлари каттароқ бўлади. Шунинг учун бу насосларда қолдиқ хажм эгаллаган қисми катта бўлиб, улар куруқ вакуум насосларга нисбатан кам сийракланиш беради. Суюқлик вакуум насосларида золотниклар бўлмайди.

**Ротор пластинали ва сув ҳалқачали вакуум насослар.** Бу насослар конструктив жиҳатдан пластинали ва сув ҳалқачали (7.8 ва 7.9 - расм) компрессорларга ўхшайди. Роторли вакуум насосларда қолдиқ хажм махсус канал ёрдамида паст босимли камера билан бирлаштириб, газнинг босими тенглаштирилади. Бунда вакуум насосларнинг хажмий коэффициенти ва унумдорлиги ортади.

Сув ҳалқачали вакуум насосларда ҳосил бўлган сийракланиш миқдори насосга қуйиладиган иш суюқлигининг порциал босимига ва ҳароратига боғлиқ. Суюқлик ҳарорати ортиши билан сийракланиш миқдори камаяди. Шу сабабли сув ҳалқачали вакуум насосларга паст ҳароратли суюқликлар қуйилади.

**Оқимли вакуум насослар.** Буларнинг иш принципи худди суюқлик узатувчи ингичка оқимли насосларникига ўхшайди. Ингичка оқимли вакуум насосларда иш суюқлиги сифатида буғ ишлатилади (7.7 - расм). Бундай насослар кислота буғларини сўриб олиш учун ишлатилади.

Катта ёки чуқур вакуум олиш учун кўп босқичли ингичка оқимли вакуум насослардан фойдаланилади.



7.11 - расм. Ингичка оқимли буғ вакуум- насоси.

1- буғ соплоси; 2 – аралаштириш камераси; 3 – диффузор; 4 – сўриш патрубкиси.

### Компрессорларни танлаш

**Компрессорларни танлаш.** Кимё саноатининг барча тармоқларида кенг миқёсда поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналари ишлатилади.

Турбокомпрессор ва турбогазодувкаларнинг тузилишининг соддалиги, ихчамлиги ва газларни бир меъёрда узатиши билан бошқа компрессорларидан фарқланади. Буларнинг энг катта афзаллиги шундаки, улар газни тоза ҳолда

узатади. Трубокомпрессорлар ва турбогазодувкаларда тезюар ва инерцион кучланишлар бўлмагани учун уларни енгил фундаментларга ўрнатиш ҳамда тўғридан-тўғри электр двигателга улаш мумкин.

Трубокомпрессорлар кўп миқдорлардаги газларни 10000...20000 м<sup>3</sup>/соат, 3,0 МПа гача босимда узатади. Ҳозирги вақтда кўп босқичли турбокомпрессорларда газларни 30 МПа гача босимда узатиш мумкин.

Трубокомпрессорларнинг ФИК поршенли компрессорларга нисбатан камроқ.

Кам миқдордаги (10000 м<sup>3</sup>/соат гача) газларни юқори босимда (100 МПа гача) узатиш учун поршенли компрессорлар ишлатилади.

Роторли компрессорнинг ФИК марказдан қочма ва турбокомпрессорларга нисбатан юқори бўлиб, улар босими 1,5 МПа гача, унумдорлиги 6000 м<sup>3</sup>/соат гача бўлган газларни узатиш учун мўлжалланган. Роторли компрессорларни тайёрлаш қийин, ротордаги пластиналар тез едириб, иш камераларининг зич ёпилмаслиги натижасида газларни сиқиш даражаси камаяди.

Кимё саноатида сув ҳалқачали вакуум насослар кенг миқёсда агрессив, портловчан ва нам газлар ҳамда буғларни узатиш, ўртача (90-95%) вакуум олиш учун ишлатилади. Улар поршенли вакуум насосларга нисбатан бирмунча афзалликларга эга лекин уларнинг ФИК кам.

Кўп босқичли буғ оқимли вакуум насосларда 95-99,8% сийракланиш мумкин. Бу қурилмаларнинг тузилиши оддий, ҳаракатланувчи қисмлари йўқ. Шу сабабали бўлар кимёвий актив газларни сўриб олиш учун кенг ишлатилади. Буғ оқимли вакуум насосларни ўрнатиш учун сим ва фундаментларнинг хожати йўқ, уларни исталган ерга ўрнатиш мумкин.

Буғ оқимли вакуум насосларда кўпроқ буғ сарфланади ва сўриб олинаётган газ буғ билан аралашishi мумкин.

### **Назорат саволлари**

1. Сиқиш даражасига кўра компрессор машиналар қандай турларга бўлинади.
2. Ван-дер-Ваальс тенгламасини ёзинг.
3. Поршенли компрессорларнинг иш принципини тушунтиринг.
4. Роторли компрессорларнинг қандай турларини биласиз.
5. Газодувканинг иш принципини тушунтиринг.
6. Кимё саноатида газлар қандай сиқилади?
7. Сиқиш даражаси деб нимага айтилади?
8. Вентильаторлар ва газодувкалар нима мақсадда ишлатилади?
9. Вакуум насослар қандай мақсадларда ишлатилади?
10. Марказдан қочма машиналар қандай турларга бўлинади?
11. Вентильаторлар қандай гуруҳларга бўлинади?
12. Вакуум насосларни қандай турларини биласиз?
13. Насослар қандай танланади?
14. Компрессорларни танлашда нималарга эътибор берилади?
15. Турбокомпрессорнинг бошқа компрессорлардан афзаллиги?

## 8 - Маъруза

### Мавзу: Гидромеханик жараёнлар. Турли жинсли системалар классификацияси

#### Режа:

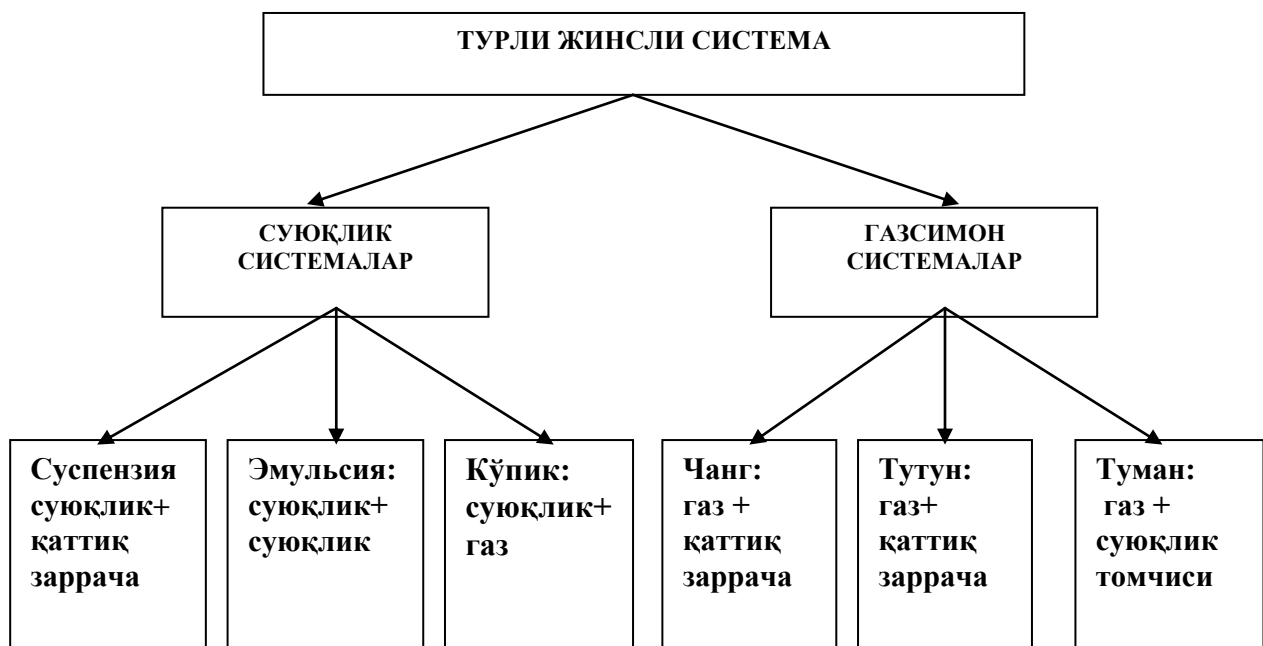
1. Турли жинсли системалар. Классификацияси.
2. Ажратиш усуллари.
3. Чўктириш жараёнининг қурилмалари.

**Таянч сўзлар ва иборалар:** турли жинсли система, фаза, суспензия, чанг, тутун, эмульсия, кўпик, туман, чўктириш, филтрлаш, центрифугалаш, тенглама.

#### Турли жинсли системалар. Классификацияси

Ҳар хил фазалардан (масалан, суюқлик - қаттиқ модда, суюқлик - газ ва ҳоказо) ташкил топган аралашмалар **турли жинсли система** деб аталади. Кўпчилик турли жинсли системалар ишлаб чиқариш шароитида технологик жараёнларни амалга ошириш пайтида ҳосил бўлади. Ҳар қандай турли жинсли система **икки** ёки **ундан кўп** фазалардан ташкил топади. Заррачалари жуда майдаланган ҳолатдаги 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 ташкил топган аралашмалар **суспензия** дейилади. Қаттиқ модда заррачаларининг ўлчамига кўра суспензиялар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан ортиқ); майин суспензиялар

(заррачалар ўлчами 0,5 - 100 мкм); лойқасимон-суспензиялар (заррачалар ўлчами 0,5 - 0,1мкм); коллоид эритмалар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан кичик).

Саноатда суспензиялар жуда кўп учрайди. Қаттиқ сочилувчан моддаларни суюқлик билан аралаштириш пайтида суспензиялар ҳосил бўлади.

**Эмульсиялар** икки хил ўзаро аралаштирилган суюқликлардан иборат бўлиб, бунда биринчи суюқликнинг ичида иккинчи суюқликнинг томчилари тарқатилган бўлади. Эмульсияга сут энг ҳарактерли мисол бўла олади. Сут таркибида сув ва 3-4 хил ёғ заррачаларидан иборат.

Ўз таркибида газ пуфакчалари тутган суюқ системалар **кўпиклар** деб аталади. Суюқлик - газ системаси ўзининг хоссасига кўра эмульсияларга яқин туради.

**Чанглар** деб ўз таркибида қаттиқ модданинг майда заррачаларини тутган газ системаларига айтилади. Чанг таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами 3...70 мкм оралиғида бўлади.

**Тутунлар** таркибида ўлчами 0,3...5 мкм га тенг бўлган қаттиқ модда заррачалари бўлади. Тутунлар буғ ёки газларнинг суюқ ёки қаттиқ ҳолатга конденсацияланиш жараёни орқали ўтишда ҳосил бўлади.

**Туманлар** суюқ ва газ фазаларидан ташкил топган бўлади. Туман таркибидаги суюқлик заррачаларининг ўлчами 0,3... 0,5 мкм га тенг.

Чанг тутун ва туманлар **аэродисперс системалар** ёки **аэрозоллар** деб аталади. Қуйидаги расмда турли жинсли системаларнинг классификацияси берилган.

Техникада турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазалар ёки компонентларга ажратишга тўғри келади. Ажратиш усулларини танлашда турли жинсли системани ташкил этувчи фазаларнинг ҳолатига (суюқ, қаттиқ ва газсимон), қаттиқ ёки суюқ заррачаларнинг ўлчамига, фазалар ўртасидаги зичлик фарқига, муҳит қовушқоқлиғига аҳамият бериш керак.

### Ажратиш усуллари

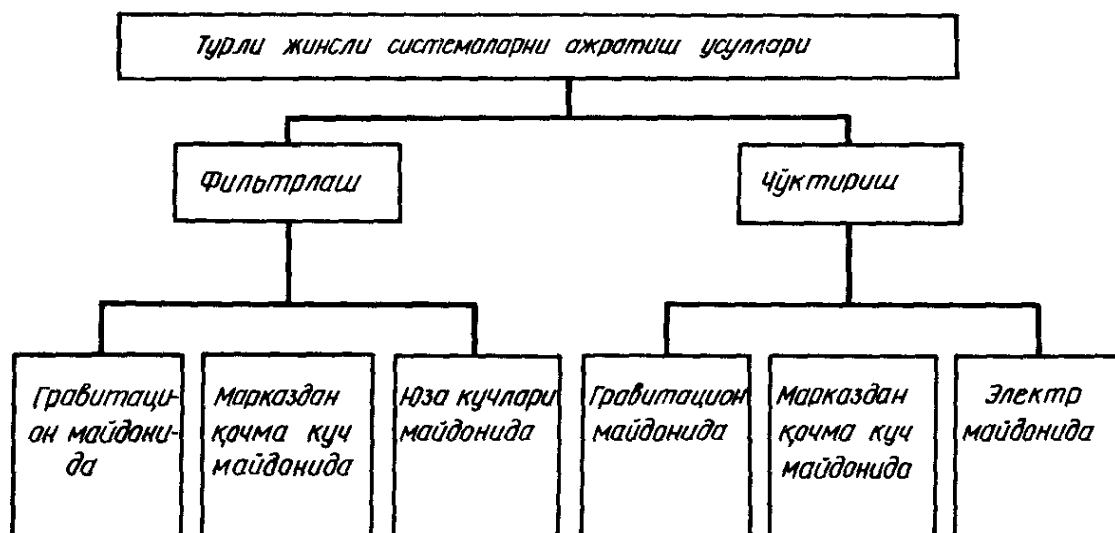
Техникада турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазалар ёки компонентларга ажратиш тўғри келади. Ажратиш усулларини танлашда турли жинсли системани ташкил этувчи фазаларнинг ҳолатига, қаттиқ ёки суюқ заррачаларнинг ўлчамига, фазалар ўртасидаги зичликлар фарқига, муҳитнинг қовушқоқлиғига аҳамият бериш керак.

Кимё ва озиқ-овқат технологиясида турли жинсли системаларни ажратиш учун қуйидаги гидромеханик усуллардан фойдаланилади:

1) чўктириш, 2) филтрлаш, 3) центрифугалаш, 4) суюқлик ёрдамида ажратиш.

Турли жинсли системаларни техникада ажратиш учун гравитацион, марказдан қочма куч ва электр майдонларидан ҳамда суюқлик ва газлардаги юза кучлари босимининг майдонидан фойдаланилади.

Оғирлик кучи, инерция кучлари ёки электростатик кучлар ёрдамида суюқлик ва газсимон турли жинсли системалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни ажратиш **чўктириш** деб аталади.



Агар чўктириш оғирлик кучи таъсирида борилса, бу жараён **тиндириш** деб юритилади. Тиндириш асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун ишлатилади.

**Филтрлаш** - суюқ ва газсимон аралашмаларни ғоваксимон тўсиқ филтр ёрдамида ажратишдан иборат. Филтрлаш босим ёки марказдан қочма куч таъсирида олиб борилади ва асосан суспензия ҳамда чангларни тўла тозалаш учун ишлатилади.

**Центрифугалаш** - суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма кучлар таъсирида яхлит ёки ғоваксимон тўсиқлар ёрдамида ажратиш жараёнидир.

Суюқлик ёрдамида **ажратиш усули** деб газ таркибида бўлган қаттиқ заррачаларни бирор суюқлик иштирокида ушлаб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён оғирлик ёки инерция кучлари таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади.

Турли жинсли системаларни ажратишнинг юқорида баён этилган усуллари саноатда **чўктириш, филтрлаш қурилмалари, циклонлар, электрофилтрлар, центрифугалар, скрубберлар** ва шу каби қурилмаларда олиб борилади.

### 3.3. Ажратиш жараёнининг моддий баланси

Дисперс фаза **a** ва дисперсион фаза **b** лардан ташкил топган турли жинсли система ажратилиши керак. Қуйидаги белгилашларни киритамиз:

$G_{ap}$ ,  $G_{чүк}$ ,  $G_{mc}$  – бошланғич аралашма, чўкма ва тозаланган суюқлик массалари, кг;

$x_{ap}$ ,  $x_{чүк}$ ,  $x_{mc}$  – бошланғич аралашма, чўкма ва тозаланган суюқликлар таркибида **b** модда концентрацияси, %.

Агар ажратиш жараёнида масса йўқотилиши бўлмаса, моддий баланс тенгламасини ушбу кўринишда ёзиш мумкин:  
моддаларнинг умумий миқдори бўйича

$$G_{ap} = G_{mc} + G_{чүк} \quad (8.1)$$

дисперс фаза (  $b$  модда ) бўйича

$$G_{ap}x_{ap} = G_{mc}x_{mc} + G_{чук}x_{чук} \quad (8.2)$$

(8.1) ва (8.2) тенгламаларни биргаликда ечсак, тозаланган суюқлик миқдорини топамиз:

$$G_{mc} = G_{ap} \frac{x_{чук} - x_{ap}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (8.3)$$

ва чўкма миқдорини:

$$G_{чук} = G_{ap} \frac{x_{ap} - x_{mc}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (8.4)$$

Ажратиш жараёнининг самарадорлиги ажратиш жадаллиги билан характерланади:

$$\varepsilon_{ажр} = \frac{G_{ap} \cdot x_{ap} - G_{mc} \cdot x_{mc}}{G_{ap} \cdot x_{ap}} \quad (8.5)$$

(8.3) ва (8.4) тенгламалар ёрдамида аралаштириш жараёнини ҳам ифодаласа бўлади. Ундан ташқари, (8.3) тенгламадан аралашма таркибидаги дисперс фаза концентрациясини ҳам топиш мумкин:

$$x_{ap} = \frac{G_{mc}x_{mc} + G_{чук} \cdot x_{чук}}{G_{ap}} \quad (8.6)$$

### Чўктириш жараёнининг қурилмалари

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 оғирлик кучи таъсирида қурилма тубига чўкишига асосланган. Чўктириш жараёнлари тиндирувчи қурилмаларда олиб борилади.

Чўкиш тезлигини аниқлаш учун алохида олинган шарсимон қаттиқ заррачаларнинг суюқлик муҳитда эркин чўкишини текшираемиз: чўктириш жараёнлари **тиндирувчи** қурилмаларда олиб борилади. Бу жараёнда чўкиш тезлигини ҳисоблаш муҳимдир.

Заррача дастлаб тез чўка бошлайди, сўнгра оғирлик кучи қаршилиқ кучига тенг бўлгандан сўнг ўзгармас тезлик билан бир хилда чўкади. Шу ўзгармас тезлик **чўкиш тезлиги** дейилади. Умумий ҳолда тезлиги қуйидаги формуладан топилади:

$$\omega_{ч} = \frac{d^2 \cdot g(\rho_{кз} - \rho_{м})}{18\mu_{ч}}$$

Бу тенглама **Стокс тенгламаси** деб юритилади ва  $Re < 2$  бўлганда ишлатилади. Турбулент режимда  $Re > 500$  бўлганда инерция кучларидан устун туради. Турбулент режим учун чўкиш тезлиги куйидаги тенгламадан топилади:

$$\omega_{\text{ч}} = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_{\text{кз}} - \rho_{\text{м}})}{\rho_{\text{м}}}}$$

Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги куйидагича аниқланади:

$$w = w_{\text{ч}} \varphi$$

бу ерда  $\varphi$  - шакл коэффиценти.

### Суспензия концентрацияси ва заррачалар шаклининг чўкиш тезлигига таъсири

Юқорида қайд этилгандек, суюқ муҳитда қаттиқ жисм ҳаракати пайтида унинг шакли чўкиш тезлигига салмоқли таъсир этади. Оғирлик кучи таъсиридаги чўкиш жараёнида ушбу таъсир шакл коэффиценти  $f$  орқали ҳисобга олинади. Шар шаклидаги жисмлар учун  $f = 1$ . Одатда, шар шаклида бўлмаган жисмлар учун  $f < 1$ .

8.1 жадвал

Т/р	Заррача шакли	Коэффициент f
1	Шар	1,00
2	Думалок	0,77
3	Серкирра	0,66
4	Чўзинчок	0,58
5	Пластинасимон	0,43
6	Учбурчак	0,88

Агар, заррача шакли шарсимон бўлмаса, унинг назарий чўкиш тезлиги суюқлик оқими режимига қараб танланади. Формуладаги аниқловчи ўлчам сифатида заррачанинг эквивалент диаметри қўлланилади. Сўнг эса, заррачанинг ҳақиқий шаклига қараб, аниқланган чўкиш тезлиги  $w_{\text{чук}}$  тегишли шакл коэффиценти  $f$  га кўпайтирилади:

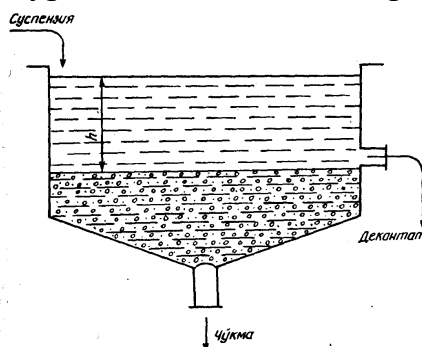
$$w'_{\text{чук}} = w_{\text{чук}} \cdot f \quad (8.7)$$

Келтириб чиқарилган формулаларда чексиз бўшлиқда заррачалар эркин чўкмоқда деб фараз қилинган. Бундай тахмин суспензия концентрацияси жуда паст бўлганда тўғри. Лекин, суспензия концентрацияси ўрта ва юқори бўлса, чўкиш жараёнида заррачалар бир-бири билан тўқнашади ва катта заррачалар майдаларини илинтириб, ўзи билан олиб кетади. Заррачаларнинг бундай тўқнашуви натижасида, уларнинг ҳаракат энергияси йўқотилади, яъни муҳитнинг қаршилиги ортади ва оқибатда чўкиш тезлиги камаяди.

Агар, суспензия концентрацияси қанчалик юқори бўлса, чўкиш тезлигига сиқиклик ҳодисаси шунчалик катта таъсир қилади. Шунинг учун, ҳақиқий ёки назарий чўкиш тезлиги, ҳажмий концентрацияни ҳисобга олувчи тузатиш коэффициентига кўпайтирилади.

Чўктириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўктириш жараёндан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Бу жараён суспензияни филтрлаш орқали ажратишни тезлаштиради. Чўктириш жараёни чўктирувчи ёки қуюлтирувчи қурилмаларда олиб борилади. Чўктириш қурилмалари **даврий, узлуксиз** ва **ярим узлуксиз** режимда ишлатиладиган қурилмаларга бўлинади. Ўз навбатида, узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаси **бир, икки** ва **кўп ярусли** бўлади.

8.1- расмда даврий ишлайдиган чўктириш 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 чўкади. Қурилманинг юқори қисмида эса тозаланган ва баландлиги  $h$  га тенг бўлган 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.



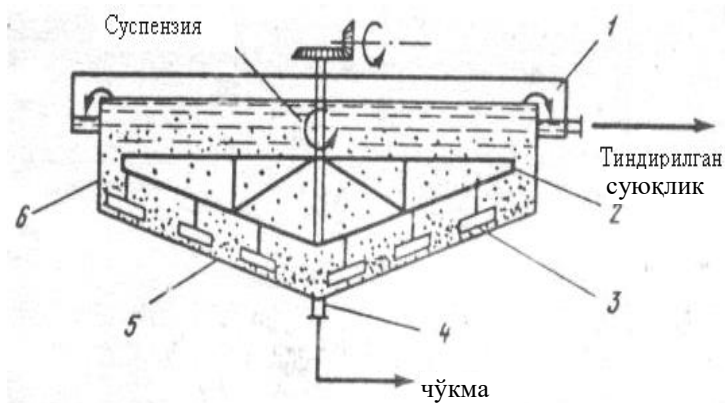
8.1 - расм. Даврий ишлайдиган чўктирувчи қурилма.

Агар  $\rho_k > \rho_m$  (масалан, сутларни тиндириш пайтида) бўлса, дисперс фазанинг заррачалари қурилманинг юқори қисмида йиғилади. Қурилманинг пастки қисмида эса тозаланган қатлам ҳосил бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаларида турли жинсли системаларни ажратиш жараёни анча тез боради ва чўкмани тушириш учун кам вақт кетганлиги сабабли меҳнат сарфларидан камаяди. Бундай қурилмаларга аралашмаларни бериш ва ажратилган маҳсулотларни чиқариб олиш узлуксиз равишда олиб борилади.

Ажратилаётган заррачаларнинг зичлиги тиндирилаётган суюқлик зичлигидан кичик бўлса ( $\rho \leq \rho_m$ ), у ҳолда чиқиндилар қурилманинг юқори қисмида, суюқлик фазасининг эркин юзасида тўпланади. Тиндирилган фаза қурилманинг қўйи қисмидан даврий равишда тушириб турилади.





**8.2 - расм. Узлуксиз ишловчи чўктириш қурилмаси.** 1- халқасимон тарнов; 2- аралаштириш мосламаси; 3- паррак (сурувчи тарок); 4- чўкма тушириш мосламаси; 5- конуссимон тублик; 6- цилиндрик идиш.

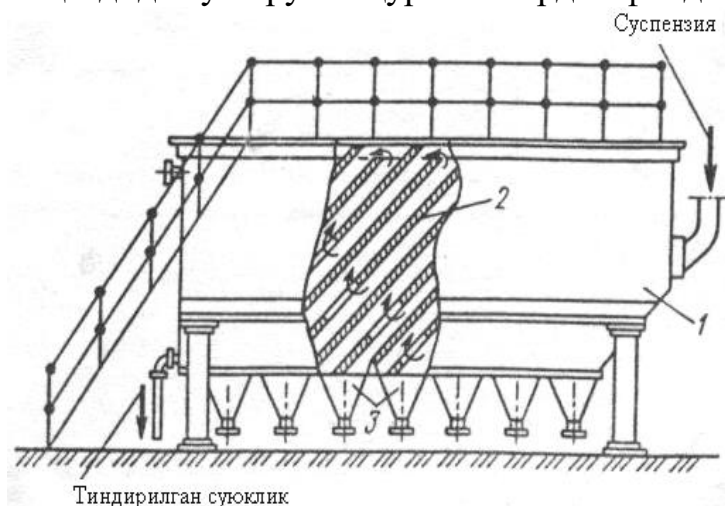
Ушбу типдаги тиндириш қурилмаларининг айрим турлари аралаштирувчи мосламалар (тароқлар) билан жиҳозланади. Бундай қурилмани (8.2-расм) самарадорлиги юқори, чўкиндиларни қурилма тубининг ўртасига йиғиш ва тушириш имконияти мавжуд.

Тароқлар ҳаракати ўта кичик ( $n=0,02\div 0,05 \text{ мин}^{-1}$ ) бўлганлиги сабабли чўкиш жараёнига салбий таъсир кўрсатмайди.

Юқорида таърифи келтирилган қурилмаларнинг диаметрлари катта (бино ичида  $12\div 20 \text{ м}$ , очик майдонларда  $\leq 120 \text{ м}$ ), баландлиги эса анча кичик бўлади. Ажратилган чўкма таркибидаги намлик  $80\%$  гача бўлади.

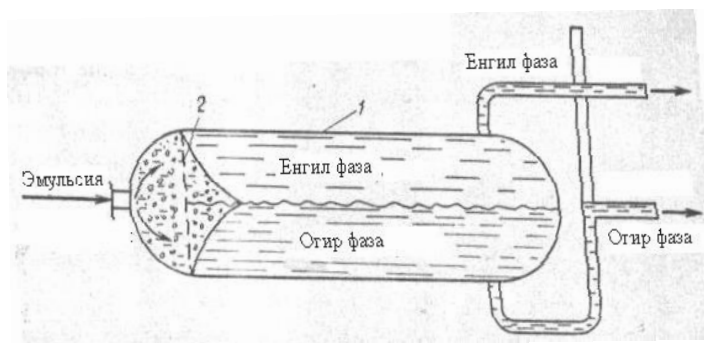
Турли жинсли системаларни ажратиш учун кўп ярусли чўктирувчи қурилмалар ишлатилади. Чўктирувчи қурилмаларни ҳисоблашда энг биринчи навбатда чўкиш юзаси аниқланади.

Чўктириш қурилмалари эгаллайдиган майдонларни қисқартириш мақсадида кўп ярусли қурилмалардан фойдаланилади (8.3-расм).



**8.3 - расм. Кўп ярусли чўктириш қурилмаси.** 1- корпус; 2- қия тўсик; 3- бункер.

Эмульсияларни узлуксиз равишда ажратиш учун қўлланиладиган тиндиргичнинг принцинал схемаси 8.4-расмда тасвирланган. Қурилма перфорацияланган тўсикли 2 горизонтал резервуар 1 шаклида бажарилган. Тўсикнинг асосий вазифаси қурилмага берилаётган эмульсия оқими таъсирида идишдаги суюқлик аралашмасининг тўлқинланишини олдини олишдан иборатдир.



**8.4-расм. Эмульсия ажратувчи  
қурилма схемаси:**  
1- корпус;  
2- перфорацияланган тўсиқ.

Фазаларнинг ўзаро аралашувини олдини олиш ва ажратиш жараёнини бир маромда олиб борилишини таъминлаш мақсадида қурилмадаги оқим режими ламинар бўлиши керак. Қатламларга ажралаётган суюқликлар тиндиргич панжарасининг қарама-қарши томонидан чиқарилади. Оғир фракция чиқариладиган куйи қувурда ҳавонинг тўпланишини олдини олиш мақсадида у тескари сифон шаклида ишланади ва атмосфера ҳавоси билан туташтирилади.

Вақт бирлиги ичида тозаланган суюқлик хажми куйидаги тенгламадан топилади:

$$V = \frac{hF}{\tau}$$

Тозаланган суюқликнинг миқдори куйидагича аниқланади:

$$G_2 = G_1 (1 - x_1 / x_2)$$

Чўкиш юзаси умумий ҳолда куйидаги тенгламадан топилади:

$$F = \frac{1,3 \cdot G_1}{\rho_c \cdot \omega_c} (1 - \beta)$$

Чўктириш қурилмаларининг баландлиги одатда ҳисобга олинмайди ва 2,5 - 3,5м га тенг деб олинади.

### Назорат саволлари

1. Турли жинсли система деб нимага айтилади?
2. Турли жинсли системалар нега гуруҳларга бўлинади?
3. Чўктириш деб нимага айтилади?
4. Ажратишда қандай усуллардан фойдаланилади?
5. Чўкиш тезлиги формуласини ёзинг.
6. Суспезия деб нимага айтилади, суспезияларнинг заррачаларини ўлчами қандай бўлади?
7. Эмульсия деб нимага айтилади ва эмульсияларга мисоллар келтиринг?
8. Газсимон системалар неча гуруҳга бўлинади?
9. Туманлар қандай ҳосил бўлади ва конденсацияланиш жараёнини тушунтиринг?
10. Аэродисперс системалар қайсилар?

## 9 – Маъруза Мавзу: Филтрлаш

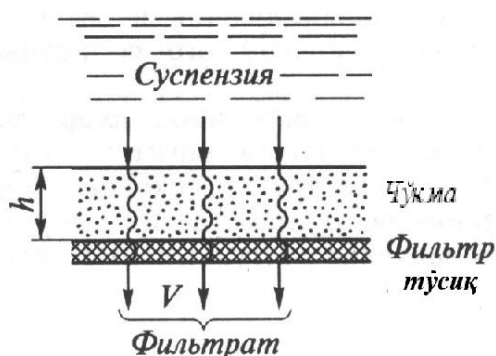
### Режа:

1. Умумий тушунчалар
2. Филтрлаш жараёни ва тўсиқлари
9. Филтрлаш тезлиги ва тенгламаси
4. Филтрлар

**Таянч сўзлар ва иборалар:** филтрлаш, филтр, усуллари, қўшимча жараён, тезлиги, тенглама, режимлари, қурилмалари, ажратиш коэффициенти, ультрафилтрлаш, осмос, унумдорлик.

### Умумий тушунчалар

Суспензия ва чангли газларни филтр тўсиқлар орқали ўтказиб тозалаш жараёни **филтрлаш** дейилади. Филтр тўсиқлар қаттиқ заррачаларни ушлаб қолиб, суюқлик ёки газни ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Филтр тўсиқлар ёки филтр сифатида майда тешикли тўрлар, турли газламалар, сочилувчан материаллар (кум, шағал, майдаланган кўмир, бентонитлар) керамик буюмлар, ғовак полимер материаллар, металлокерамика ва бошқалар ишлатилади. Филтр сифатида пахта, юнг ва синтетик газламалардан тайёрланган материаллардан ҳам фойдаланилади.



Филтр тўсиқ ва чўкма қатлами орқали суюқликнинг ўтиш схемаси.

Филтрлаш жараёни босимлар фарқи ёки марказдан қочма кучлар майдони таъсирида амалга оширилади.

Филтрлаш интенсивлиги суспензия сифати, яъни дисперс фаза чўкмаси қаршилигининг миқдориغا, картон, шилимшиқ ва коллоид моддалар бор-йўқлигига боғлиқдир.

Турли жинсли системаларни ажратиш пайтида филтр конструкцияси ёки филтрловчи центрифуга, филтр тўсиқ ва филтрлаш режимларини танлаш зарурати туғилади.

Кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда чўкма ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш кенг тарқалган.

Масалан, шакарпазликда филтрлаш қиёмларни тозалаш, чўкмани сатурацион шарбатдан ажратиш учун қўлланилади. Пиво пиширишда эса, ушбу жараён суслодан **қаттиқ фазани** ажратиш ва тайёр маҳсулотни тиндириш учун ишлатилади. Ундан ташқари, винопазлик, ликер – ароқ ва шарбатлар ишлаб чиқариш саноатларида филтрлаш жараёнидан кенг миқёсда фойдаланилади.

Кимё, нон пишириш, тегирмон ва спирт саноатларида газларни тозалаш учун филтрлаш жараёни ишлатилади.

Филтрлаш жараёнида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чўкмалар ҳосил

бўлади. Сиқилувчи чўкма заррачалари босим ортиши билан қатлам деформацияга учрайди ва унинг ўлчами камаяди. Сиқилмайдиган чўкмада босим кўпайиши билан қатлам шакли ва ўлчами узгармайди.

Фильтрлаш пайтида суспензия таркибидаги майда заррачалар фильтрловчи материалларнинг устки қисмида чўкма ҳолида ёки фильтрловчи материалнинг (устки қисмида) ўзида тешикларини тўлдирган ҳолда ўтириб қолиши мумкин.

Бу хусусияга кўра фильтрлаш иккига бўлинади.

1. Чўкма ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш.
2. Фильтрловчи материалнинг тешикларини тўлдириш орқали фильтрлаш.

Саноатнинг кўп тармоқларида чўкма ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш кенг қўлланилади. Фильтрлаш 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. Саноатда фильтрлашдан сўнг қуйидаги қўшимча жараёнлар амалга оширилади:

1. Чўкмани ювиш.
2. Чўкмани оддий ҳаво ва инерт газлар билан дудлаш.
3. Чўкмани иссиқ ҳаво билан қуритиш.

Фильтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинадиган фильтрлашнинг тозаллиги асосан, фильтр тўсиқларининг хусусияларига боғлиқ. Фильтр тўсиқларнинг тешиклари катта ва гидравлик қаршиликлари кичик бўлиши зарур. Фильтр тўсиқлар структура тузимига қараб *эгиловчан* ва *эгилмас* бўлади.

Фильтр тўсиқлардан олдинги ва кейинги босимлар фарқи ёки фильтрловчи материалларга суюқлик босимини ҳосил қилувчи марказдан қочма кучлар фильтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи вазифасини бажаради.

Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб фильтрлаш икки гурпага бўлинади:

1. Босимлар фарқи таъсирида фильтрлаш.
2. Марказдан қочма кучлар таъсирида фильтрлаш (центрифугалаш).

Фильтр 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 ( $\Delta P 0,05-0,9$  мПа гача).

### **Фильтрлаш жараёни ва тўсиқлари**

Турли жинсли системаларни ажратиш пайтида фильтр тўсиқ тури ва суспензия хоссаларига қараб, фильтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиш, фильтр ковакларини тўлдириш ва ҳам биринчи, ҳам иккинчи ҳодисалар биргаликда келган (оралиқ) ҳолатларда фильтрлаш жараёни содир бўлиши мумкин.

Фильтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиб фильтрлаш жараёни қаттиқ

жисм заррачаларининг диаметри  $d_s$ , ковак диаметри  $d$  дан катта бўлганда рўй беради.

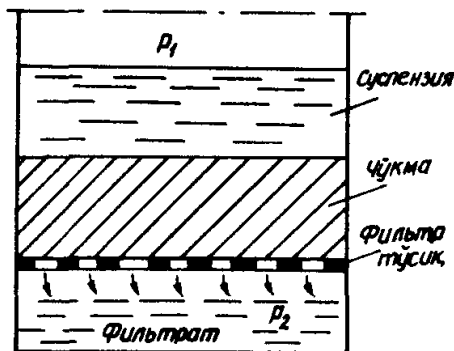
Бу усул суспензия таркибидаги қаттиқ фаза концентрацияси 1% (масс) дан ортиқ бўлганда қўлланилади, чунки бунда фильтр тўсиқ ковагига кириш жойида гумбазчалар ҳосил бўлиши учун қулай шароитлар яратилади. Гумбазчалар ҳосил бўлиши, чўкиш тезлиги ва суспензия концентрациясининг ортишига имконият туғдиради.

9.1- расмда фильтрлаш 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,  $P_2$  - фильтр тўсиқдан кейинги босим.

Фильтрлаш жараёни уч хил режимда олиб борилади: 1) доимий ўзгармас босимлар фарқи билан фильтрлаш ( $\Delta P = \text{const}$ ); 2) доимий фильтрлаш тезлиги билан фильтрлаш ( $dV/d\tau = \text{const}$ ); 3) бир вақтнинг ўзида босимлар фарқи ва фильтрлаш тезлиги ўзгариб турган ҳолатда фильтрлаш.



9.1 - расм. Фильтрлаш жараёнининг схемаси.

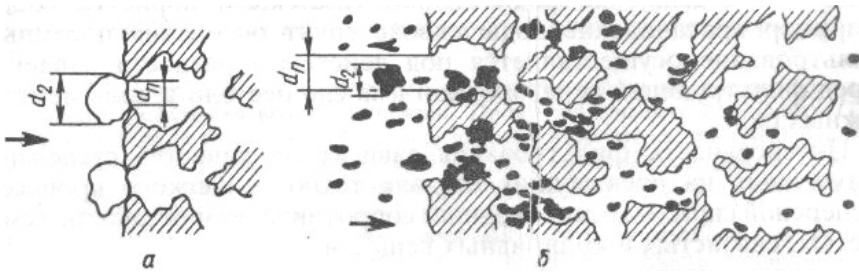
Ўзгармас босимлар фарқи таъсирида чўкма қатлами ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш энг кўп қўлланилади. Фильтрлаш жараёнининг моделини кўриб чиқамиз (9.1-расм). Бу модел бўйича фильтр тўсиқ ва чўкманинг ҳамма каналлари (ёки ғоваклари) тенг қийматли бўлиб, фильтрат ушбу каналлар бўйлаб ламинар режим билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда фильтратнинг каналлар бўйлаб ўтишига бўлган гидравлик қаршиликни Гаген-Пуазейл тенгламаси ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\Delta P = \frac{32L\mu\omega}{d^2} \quad (9.1)$$

бу ерда  $\Delta P$  - босимлар фарқи;  $L$  - чўкма ва фильтр тўсиқ, каналларининг узунлиги;  $d$  - ушбу каналларнинг диаметри;  $\omega$  - фильтратнинг каналлардаги ҳаракат тезлиги;  $\mu$  - фильтратнинг қовушқоқлиги.

Фильтр тўсиқнинг юзасини  $F$  билан, тўсиқдаги ҳамма кундаланг кесимининг умумий юзасини  $S$  билан белгиласак, у ҳолда:  $S = aF$  ёки  $F = S/a$ , бу ерда  $a < 1$  - умумий юзага нисбатан улушни билдиради.

Фильтрлаш жараёнининг интенсив ва фильтр курилмасининг иш унуми  
фильтрлаш тезлиги билан ифодаланади.



9.2-расм. Фильтрлаш схемаси.

- 1 - чўкма ҳосил қилиб фильтрлаш;  
2 - тўсиқ ғовакларини тўлдириб фильтрлаш.

**Ғовакларни тўлдириш усулида**  
**фильтрлаш** (9.2-расм)  
фильтр тўсиқ  
ковакларига каттиқ  
заррачалар кириб  
тўлдирганда рўй  
беради. Шунини алоҳида  
таъкидлаш керакки,  
фильтрлаш  
жараёнининг

бошланғич давридаёқ, каттиқ заррачалар тўсиқ ковакларини тўлдириб бошлайди. Бу ҳодиса, албатта фильтр курилмалар иш унумдорлигини пасайтиради. Жараённи керакли даражада ушлаб туриш учун фильтр тўсиқни биринчи ҳолатини тиклаш, яъни фильтрлашга яроқли қилиш керак. Бунинг учун тўсиқлар суюқлик оқими билан ювилади ёки тўсиқ металлдан ясалган бўлса, қиздириб куйдирилади.

**Оралик фильтрлаш** усули бир вақтнинг ўзида ҳам фильтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиш, ҳам ковакларни тўлдириб, фильтрлаш усуллари рўй берганда амалга ошади.

Ушбу усулда кичик концентрацияли суспензияларни фильтрлаш жараёни тезлигини ошириш учун кўшимча моддалар иштирокида олиб борилади. Жараёндан аввал фильтр тўсиқ юзаси кўшимча модда билан қопланади. Кўшимча моддалардан қилинган қоплама тўсиқ ковакларини тўлиб қолишдан сақлайди. Кўшимча моддалар сифатида ўта майин кўмир, перлит, асбест, кизельгур, фиброфло, асканит ва бошқа материаллар қўлланилиши мумкин.

Хулоса қилиб айтганда, фильтрлаш жараёни интенсивлиги ва фильтр курилманинг иш унумдорлиги фильтрлаш тезлигига боғлиқдир.

Фильтр тўсиқнинг пастки ва тепа қисмларидаги босимлар фарқига ёки марказдан қочма кучга фильтрлаш жараёнини ҳаракатга келтирувчи кучи деб айтилади.

Босимлар фарқини турли усуллар: фильтр тўсиқнинг тепа бўшлиғида ортиқча босим барпо этиш ёки пастки қисмини вакуум трубага улаш йўли билан ҳосил қилиш мумкин. Бундай ҳолатларда фильтрлаш ўзгармас босимлар фарқида боради ва жараён тезлиги босимлар фарқига тўғри ва чўкма қатлами қаршилигига тескари пропорционалдир.

Фильтрлаш жараёни эса қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_c + R_{\phi m})} \quad (9.2)$$

бу ерда  $V$  - филтрат ҳажми,  $m^3$ ;  $F$  - фильтрлаш юзаси,  $m^2$ ;  $\tau$  - фильтрлаш

вакти, с;  $\Delta p$  - босимлар фарқи, Н/м<sup>2</sup>;  $\mu$  - динамик қовушоқлик, Па·с;  $R_c, R_{fm}$  – чўкма ва фильтр тўсиқлар қаршилиги, м<sup>-1</sup>.

### Фильтрлаш тезлиги ва тенгламаси

**Фильтрлаш тезлиги** вақт бирлиги ичидаги фильтратнинг хажмини кўрсатади. Фильтрлаш тезлиги ажратилаётган суспензиянинг физик-кимёвий хоссаларича, ҳосил бўлаётган чўкманинг ҳарактери, фильтрашнинг хоссаси, фильтрлаш режими ва бошқа катталикларга боғлиқ. Шуни айтиб ўтиш керакки, фильтрлаш жараёни ламинар режимда боради. Фильтрлаш тезлиги қуйидаги дифференциал ифода билан аниқланади.

$$W = dV_\phi / F_\phi d\tau_\phi \quad (9.3)$$

бу ерда  $dV_\phi$  - фильтратнинг хажми, м<sup>3</sup>;  $F_\phi$  - фильтрлаш юзаси, м<sup>2</sup>;  $d\tau_\phi$  - фильтрлаш вақти, С

### Фильтрлаш тенгламаси

Фильтрлаш жараёнида вақт ўтиши билан босимларнинг фарқи ва чўкманинг гидравлик қаршилиги ўзгариб боради. Шу сабабли фильтрлаш тезлиги дифференциал кўринишида қуйидагича ёзилади:

$$W = \frac{DV_\phi}{F_\phi d\tau_\phi} = \frac{\Delta P}{\mu(R_2 + R_\phi)} \quad (9.4)$$

бу ерда  $\Delta P$  - босимлар фарқи, МПа;  $\mu$  - суспензиянинг қовушоқлиги, Па·с;  $R_2$  - чўкма қатламининг қаршилиги;  $R_\phi$  - фильтр тўсиқларининг қаршилиги.

Фильтрлаш тезлигини аниқлаш учун (7.2) тенгликни интеграллаб, чўкманинг гидравлик қаршилиги билан олинаётган фильтрат хажми орасидаги боғлиқни билиш лозим.

Тенгламани интеграллашда фильтр тўсиқларининг қаршилиги ўзгармас деб олинади. Чунки қаттиқ заррачалар филтрни тенгликларини тўлдирмайди. Шунинг учун фильтр тўсиқларини қаршилиги инобатга олинмайди. Бунда чўкма қатламини баландлиги ортиб боради. Чўкма гидравлик қаршилигининг қиймати эса нолдан максимумгача ўзгаради.

Шунинг учун тезлик чўкманинг гидравлик қаршилиги ва фильтрат хажмига боғлиқ бўлади. Чўкма хажмини  $V_c$  фильтрат  $V_\phi$  хажмига нисбатини  $X_0$  билан белгилаймиз.

$$\frac{V_c}{V_\phi} = X_0 \quad \text{бу ерда} \quad V_c = X_0 V_\phi$$

Чўкманинг хажми чўкма қатлам баландлигининг ( $h_c$ ) фильтрат юзасига ( $F$ ) кўпайтмасига тенг. Натижада

$$X_0 V_\phi = h_c F$$

Бу тенгламадан чўкма қатламининг баландлигини топиш мумкин:

$$h_c = X_0 V_\phi / F \quad (9.5)$$

Чўкма қатламининг қаршилигини қуйидагича аниқланади:

$$R_q = r_0 h_q = r_0 X_0 V_\phi / F \quad (9.6)$$

бу ерда  $r_0$  - чўкманинг хажми жиҳатидан олишган солиштирма қаршилиги (1 м қалинликда бўлган чўкма қатламининг филтрат оқимиға кўрсатган қаршилиги),  $1/m^2$ .

1  $m^3$  филтрат олинганда  $x_q$  ( $m^3$ ) миқдорда чўкма ҳосил бўлади деб қабул қиламиз. Унда,

$$x_q \cdot V = h_q F \quad (9.7)$$

бу ерда  $h_q$  – чўкма қатлами баландлиги, м.

Бу формуладан:

$$h_q = \frac{x_q \cdot V}{F}$$

Чўкма қатламининг қаршилиги унинг баландлигига пропорционал деб фараз қиламиз.

$$R_0 = r_0 h_0 = \frac{r_0 x_0 V}{F} \quad (9.8)$$

бу ерда  $r_0$  – чўкманинг солиштирма қаршилиги,  $m^{-2}$ .

Агар (9.7) ни (9.8) га қўйсақ, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot \left( \frac{r_q x_q V}{F} + R_{\phi m} \right)} \quad (9.9)$$

(9.9) тенглик филтрлаш жараёнининг асосий тенгламаси деб аталади.

Филтрат тўсиқ қаршилиги ҳисобга олинмаса, қуйидаги тенглама ҳолатиға келамиз

$$r_q = \frac{\Delta p}{\mu h_q \cdot w} \quad (9.10)$$

бу ерда  $w$  - филтрлаш тезлиги.

Филтратлаш жараёнининг бошланғич фурсати учун, яъни  $V = 0$  да,  $R_{\phi m} = \Delta p / (\mu w)$ .

$\Delta p = \text{const}$  бўлган ҳолат учун (9.49) тенгламани интегралласак ( $0 - V$  ва  $0 - \tau$  ораликда), ушбу тенглама келиб чиқади:

$$V^2 + 2 \frac{R_{\phi m} \cdot F}{r_0 x_0} \cdot V = 2 \frac{\Delta p F^2}{\mu w \cdot x_q} \cdot \tau \quad (9.11)$$



Олинган ушбу тенглама сиқиладиган ва сиқилмайдиган чўкмалар учун қўлласа бўлади ва у филтрат ҳажми ортиши билан филтрлаш тезлиги камайишини кўрсатади.

(9.11) тенгламани филтрлаш вақти  $\tau$  га нисбатан ечсак, ушбу ифодага эришилади:

$$\tau = \frac{\mu x_q r_q}{2\Delta p} \left( \frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot V}{\Delta p \cdot F} \quad (9.16)$$

ёки (9.16) ни ҳисобга олсак

$$\tau = \frac{\mu r_q}{2\Delta p x_q} h_q^2 + \frac{R_{\phi m}}{\Delta p x_q} h_q \quad (9.17)$$

Шундай қилиб, филтрлаш вақти олинган филтрат ҳажми квадратига тўғри пропорционалдир.

Охирги тенгламани филтрнинг солиштирма иш унумдорлиги ( $V_f = V/F$ ) га нисбатан ечсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$V_f = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\mu x_q r_q} \tau + \left( \frac{R_{\phi m}}{\mu x_q r_q} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{\mu x_q r_q} \quad (9.18)$$

Ўзгармас тезлик  $w = \text{const}$  ҳолат учун (9.49) дан ушбу тенгламани оламиз:

$$V^2 \mu x_q r_q + R_{\phi m} V F \mu = \Delta F^2 \tau \quad (9.19)$$

ёки

$$V^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot F}{r_q x_q} V = \frac{\Delta p F^2}{\mu r_q x_q} \tau$$

бу тенгламадан:

$$\Delta p = \mu x_q r_q \left( \frac{V}{F} \right)^2 \frac{1}{\tau} + \mu R_{\phi m} \left( \frac{V}{F} \right) \frac{1}{\tau} \quad (9.20)$$

ёки

$$\Delta p = \mu x_q r_q w^2 + \mu R_{\phi m} w$$

Шундай қилиб, филтрлаш вақти ортиши билан босимлар фарқи кўпаяди:

$$\tau = \frac{\mu x_q r_q}{\Delta p} \left( \frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m} V}{\Delta p F} \quad (9.21)$$

яъни олинган филтрат ҳажми квадратига тўғри пропорционал.

Филтрнинг солиштирма иш унумдорлиги ( $m^9/m^2$ ):

$$V_f = \sqrt{\frac{\Delta p}{\mu x_c r_c} \tau + \left( \frac{R_{\phi m}}{2\mu x_c r_c} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{2\mu x_c r_c} \quad (9.22)$$

Амалда чўкма ҳажмининг фильтрат ҳажмига нисбати  $x_c$ , чўкма қатламининг солиштирма ҳажмий қаршилиги  $r_c$  ва фильтр тўсик қаршиликлари тажриба йўли билан аниқланади.

Агар,  $F = 1 \text{ м}^2$  бўлган ҳол учун (9.11) тенгламани ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$V^2 + 2CFV = 2KF^2\tau \quad (9.23)$$

бу ерда  $C$  - фильтр тўсик гидравлик қаршилигини характерловчи фильтрлаш константаси,  $\text{м}^9/\text{м}^2$ ;  $K$  - фильтрлаш режими ва суюқликдаги чўкманинг физик-кимевий хоссаларини ҳисобга олувчи фильтрлаш константаси,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

$$C = \frac{R_{\phi m}}{r_c \cdot x_c} \quad (9.24)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu r_c x_c} \quad (9.25)$$

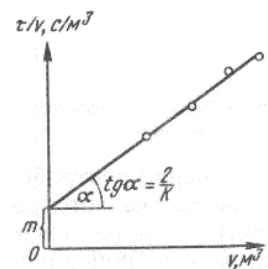
Агар, (9.23) тенгламага ўзгартириш киритсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\tau}{V} = \frac{2V}{K} + \frac{2C}{K} \quad (9.26)$$

Кўриниб турибдики, (9.26) тенглик абсциссага  $\alpha$  қия бурчак остида жойлашган тўғри чизик тенграмаси. Ушбу бурчак тангенци  $\text{tg } \alpha = 2/K$  тенг ва у ордината ўқида  $m = 2C/K$  кесмани ажратади (9.3-расм).

Ушбу тўғри чизикни қуриш учун абсцисса ўқида ўлчанган  $V_1, V_2, \dots, V_n$  қийматлари, ордината ўқида эса -  $\tau_1/V_1, \tau_2/V_2, \dots, \tau_n/V_n$  ларнинг тегишли қийматлари қўйилади.

Сўнг, аниқланган  $K$  ва  $C$  қийматлар ёрдамида (9.24) ва (9.25) тенгламалардан  $r_c$  ва  $R_{\phi m}$  лар топилади. Чўкма ва фильтрат ҳажмларини ўлчаш натижасида эса -  $x_c$  қиймати топилади.



9.3-расм. Фильтрлаш константасини аниқлашга доир.

## Фильтрлар

**Фильтрларнинг турлари.** Кимё ва озиқ-овқат саноатида ишлатиладиган фильтрлар тозаланиши керак бўлган муҳитнинг кимёвий ишлаш принциплари, фильтр тўсикларининг турига ва иш босимларнинг миқдорига қараб бир неча турларга бўлинади: ўзгармас босимлар фарқи ёки ўзгармас фильтрлаш

тезлигида ишлайдиган филтърлар; филтър тўсиқда ҳосил қиладиган босимлар фарқига қараб, вакуум ёки ортиқча босим остида ишлайдиган қурилмалар; жараёни ташкил этишга қараб, узлукли ёки узлуксиз ишлайдиган қурилмалар.

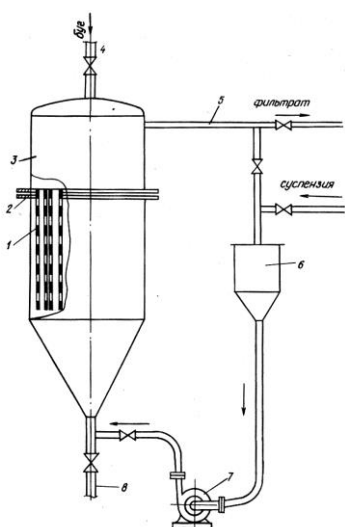
Босим остида ишлайдиган қурилма бир неча турга, яъни гидростатик босим, насос ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинган, вакуум ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимларда ишлайдиган филтърларга бўлинади.

Технологик мақсадларга қараб, қурилмалар икки турга бўлинади:

а) сувоқликларни тозалаш филтърлари; б) газларни тозалаш филтърлари.

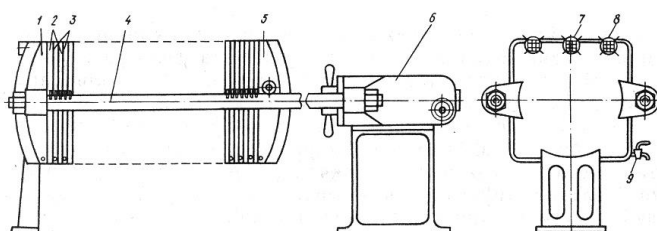
Филтър тўсиқларнинг турига қараб, донасимон материаллар, турли газламалар ва қаттиқ материаллар (керамика, тўр) ёрдамида турли жинсли системаларни тозалайдиган **филтърларга** бўлинади.

Бундан ташқари филтърлар ишлаш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади.



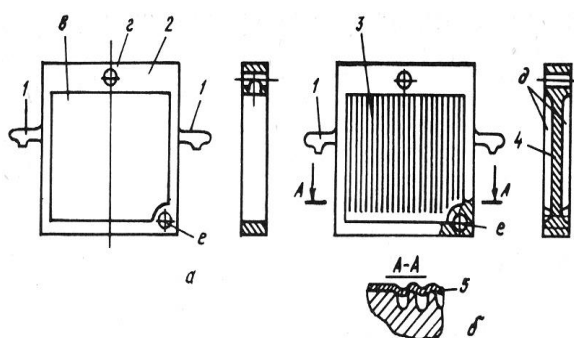
**Патронли филтър.** Бу филтърларда цилиндрсимон корпусдаги махсус металл тўсиқга металл ёки керамик трубалардан тайёрланган юқори томони очиқ бўлган ғоваксимон патронлар жойлаштирилади (9.4-расм). Патронларнинг диаметри 15-25 мм бўлиб, уларга филтърловчи газламалар кийдирилади. Филтърга суспензия босим остида берилади, филтрат патронлардан ўтиб, қурилманинг юқориги қисмида йиғилади ва штуцер орқали қурилмалардан чиқарилади. Ҳосил бўлган чўкма патронларнинг ташқи қисмидан сиқилган ҳаво ёки сув буғи ёрдамида ажратилади ва қурилманинг пастки қисмидан чиқарилади.

**Филтър - пресслар.** Филтър - пресс плита ва рамалардан тузилган бўлиб,



унда рамаларнинг сони 12 тадан 42 та гача бўлади (9.5 ва 9.6 - расм). Рамаларнинг қалинлиги 25-46 мм. Плита ва рамалар ён томонидан иккита параллел жойлашган стерженга ўрнатилади. Ҳар бир плитага филтърловчи газлама

жойлаштирилади. Рама ва плиталар гидравлик қурилма плунжер ҳосил қилган босим ёрдамида сиқилади. Суспензия каналча орқали раманинг ичига кириб, филтърловчи материалдан ўтади, сўнгра юзасидаги ариқчалар орқали пастга тушади.



Филтрат плитасининг пастки қисмида жойлашган канал орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Раманинг икки қисми чўкма билан тўлганда, суспензия бериш тўхтатилади. Шундан сўнг ювиш учун сув

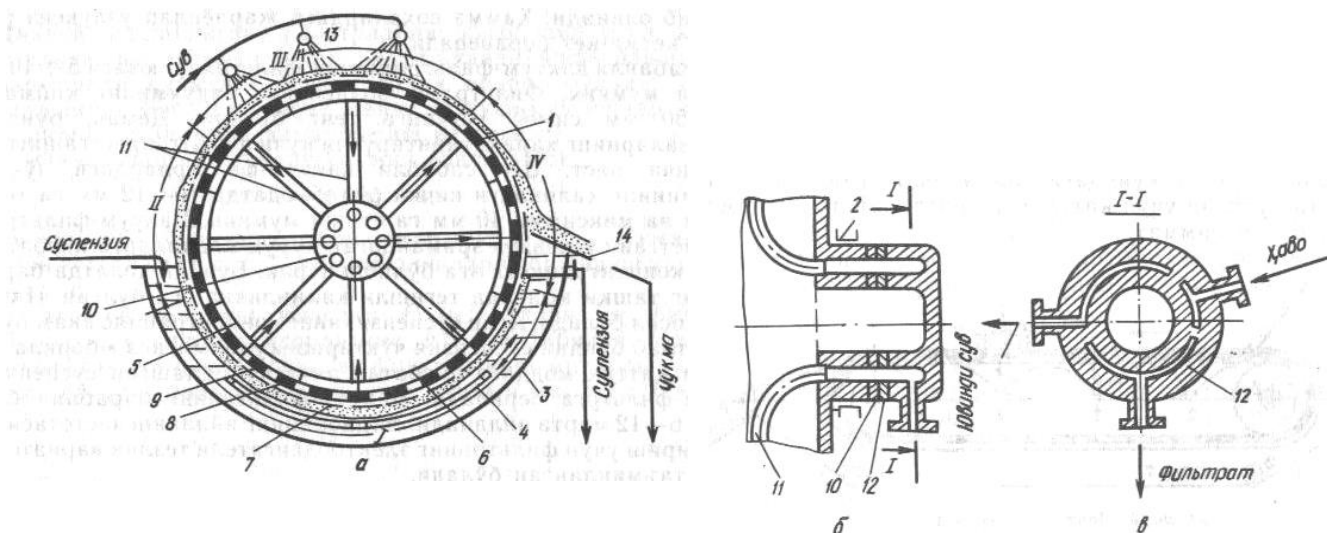
беради. Ювиш жараёни тамом бўлгач, кўзгалувчан плита чапга сурилиб, чўкма туширилади. Шундай қилиб фильтр прессларнинг иш цикли куйидаги жараёнлардан иборат бўлади:

1. Ишга тайёргарлик кўриш
2. Фильтрлаш
9. Ювиш
4. Фильтрдан чўкмани ажратиш олиш

Бундай даврий ишлайдиган қурилмаларни ишлатиш оғир жисмоний қўл меҳнати талаб қилади. Бундан ташқари ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 90 фоизига яқин вақт кетади. Бу фильтрларда кўп миқдорда газламалар сарф бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган фильтрлаш қурилмалари бу камчиликдан ҳолидир.

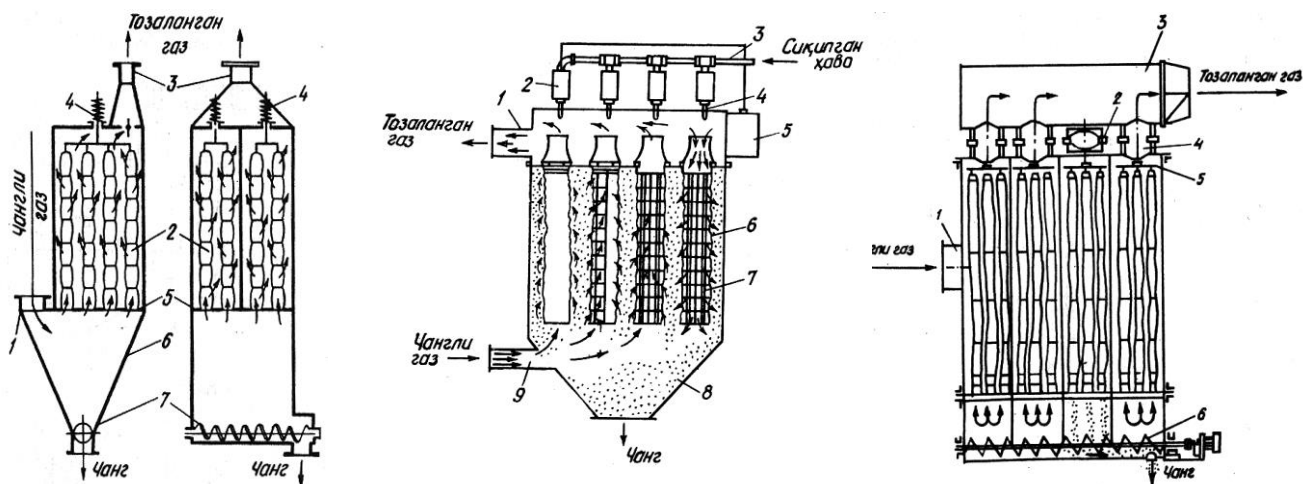
**Барабанли вакуум-фильтрлар** (9.7-расм) ҳажмий концентрацияси  $50 \div 150 \text{ кг/м}^3$  бўлган суспензияларни узлуксиз равишда ажратиш учун қўлланилади. Суспензия таркибидаги қаттиқ заррачаларнинг кўриниши кристаллар, ипсимон, аморф ва коллоидал шаклларда бўлиши мумкин.



**9.7-расм. Барабанли вакуум-фильтр.** а- фильтрнинг принципиал схемаси; б- тақсимлаш каллагининг кесими; в- тақсимлаш каллагининг кесими; I- фильтрлаш соҳаси; II- чўкмани сувсизлантириш соҳаси; III- чўкмани ювиш соҳаси; IV- чўкмани ҳаво билан пуфлаш ва юмшатиш соҳаси; 1- барабан; 2- цапфа; 3- сферик идиш; 4- чайқалувчи (тебранма) аралаштиргич; 5- ички цилиндр; 6- ташқи цилиндр; 7- фильтрловчи материал; 8- тўсиқлар; 9- секторлар; 10- тақсимлаш каллагининг кесими; 11- қувурлар; 12- тақсимлаш каллагининг кўзгалмас қисми; 13- форсунка; 14- пичок.

Майда заррачали, узун толали ва енгил чангли газ аралашмаларини тозалаш учун **фильтрлар** ишлатилади. Фильтрларнинг тешиклари майда бўлганлиги учун газ ундан ўтиб, чунг эса ушланиб қолади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида *пахтали ип* ва *жузли материаллар*, *сочилувчан (қум, активланган кўмир)* ва *керакли материаллар* ишлатилади. Газларни тозалаш учун енгил фильтрлар кўп ишлатилади (9.8 – расм). Енглари қобиқ остидаги трубага тўсиқларга маҳкамланади. Чангли газ фильтрланади. Чанглари ва майда заррачалари фильтр енгларининг тешикларида қолади. Вақт ўтиши билан чанг

қатлами кўпайиб фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ортади ва натижада қурилманинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун вақти-вақти билан силкитувчи қурилма ёрдамида силкитилиб чанглар тўкилади ва шнек орқали ташқарига чиқарилади. Баъзи фильтрлар силкитиш билан бирга газ йўналишига қарама-қарши йўналишда ҳаво билан пуфлаб тозаланади. Бундай фильтрларнинг енгини диаметри 20-25 см, узунлиги 2,5-4 м бўлиб, бир неча секциялардан иборат бўлади. Агар фильтрнинг енглари пахтали газламадан бўлса, у 65°C гача, жунли газламадан бўлса 80-90°C гача ишлайди.



9.8 – расм. Енгли фильтр. 9.9 – расм. Металло-керамикадан тайёрланган патронли фильтр. 9.10-расм. Кўп секцияли енгли фильтр.

Камчилиги: енглар тезда ишдан чиқади ва тешиклари беркилиб қолади; юқори ҳароратли газларни тозалаш мумкин эмас.

Юқори ҳароратли газларни тозалаш учун жунли газламаларга капрон толаларидан кўшиб тайёрланади. Фильтр енглари сифатида **шиша толали материаллар** ҳам ишлатилади. Юқори ҳароратдаги чангли газларни тозалаш учун ғоваксимон патронлари металл-керамикадан тайёрланган фильтрлар ишлатилади (9.9 – расм). Чангли газ фильтрловчи элементлардан ўтиб унинг юзасида ва тешикларида ушланиб қолади. Тозаланган газ қурилманинг юқори қисмидан чиқиб кетади. Фильтрловчи элементларнинг ғоваклари тўлиб қолгандан кейин улар чиқилган ҳаво ёки тозаланган газ билан пуфлаб регенерация қилиниб яна қайтадан тозалаш цикли давом эттирилади.

Саноатда кўпинча тоза ҳаво олиш учун мойли газ фильтрлар қўлланилади. Бу фильтрлар бир неча хил касетали ячейкалардан иборат. Фильтрнинг ячейкаси металл қутчасидан иборат бўлиб, унинг икки ён томони тўр билан беркитилган қутича металл ҳалкачалар билан тўлдирилган. Чангли газ тур орқали берилганда чанглар ҳалкачаларнинг юзасига ёпишиб, тозаланган газ эса тур орқали чиқиб кетади. Ҳалкачаларнинг устки қисмига *висцин* (*машина ёғи*, *глицерин*) суртилади. Мойли фильтрларда ҳаво 99% гача тозаланади.

Юқори ҳароратли ва физик-кимёвий усуллар билан газларни чангдан тозалаш учун донадор материал қатламига эга бўлган фильтрлардан

фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай фильтрларда насадка сифатида *шагал, қум, шлак, қипиқ, резина ва пластмассали майда увоқлар*, турли ишлаб чиқариш чиқиндилари ишлатилиши мумкин.

**Фильтрларни ҳисоблаш.** Фильтрлаш жараёнининг тезлиги бир қатор катталикларга боғлиқ бўлганлиги учун фильтрлаш қурилмаларини ҳисоблаш анча мураккаб ишдир. Шунинг учун фильтрлаш давомида оғирлик кучи таъсирида чўкаётган заррачаларни, фильтрлашнинг солиштирма қаршилиги ва фильтр тўсиқнинг қаршилигини вақт давомидаги ўзгаришларни ҳисобга олмаймиз. Узлуксиз ишлайдиган фильтр қурилмаларни ҳисоблашни кўриб чиқамиз. Бунда фильтрнинг берилган юзаси бўйича қурилманинг сони, фильтрлаш миқдори ва фильтрлаш вақти аниқланади.

1. Фильтрат миқдори: 
$$V = h_q F / x_0$$

2. Фильтрлаш циклининг умумий вақти: 
$$T = \tau + \tau_{ю} + \tau_{\varepsilon}$$

бундан 
$$\tau = \frac{\mu r_o h_q}{2 \Delta P x_o}$$

бу ерда  $\tau$  - фильтрлашнинг умумий вақти, с;  $\tau_{ю}$ - ювишга кетган вақт, тажриба йўли билан аниқланади, с;  $\tau_{\varepsilon}$  - ёрдамчи жараёнларнинг бажариш учун кетган вақт, с.

3. Фильтрловчи қурилманинг унумдорлиги қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Q_{\phi} = 9600 V F / T$$

4. Агар фильтрловчи қурилманинг унумдорлиги берилган бўлса, юқоридаги тенгликдан фильтрлаш юзасини аниқлаш мумкин:

$$F = Q_{\phi} T / 9600 V$$

### Назорат саволлари

1. Фильтрлаш деб нимага айтилади?
2. Фильтрлаш тезлиги тенгламасини ёзинг.
3. Фильтрлаш жараёни қандай режимларда олиб борилади?
4. Фильтрларнинг қандай турларини биласиз?
5. Фильтр сифатида қандай материаллар ишлатилади?
6. Фильтрларни ҳисоблашда қандай катталиклар аниқланади?
7. Фильтр - пресснинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
8. Патронли фильтрлаш қурилмасининг тузилиши ва ишлаш тартиби қандай?
9. Енгли фильтр қурилмасининг тузилиши ва ишлаш тартибини тушунтиринг.
10. Фильтрлаш юзасини аниқлаш тенгламасини ёзинг.
11. Саноатда фильтрлашдан сўнг қандай қўшимча жараёнлар амалга оширилади.

## 10 – Маъруза

### Мавзу: Центрифугалаш

#### Режа:

1. Умумий тушунчалар
2. Марказдан қочма куч таъсирида ажратиш
3. Центрифугалар ва уларни ҳисоблаш

*Таянч сўзлар ва иборалар: центрифугалаш, фугат, турлари, нормал, ўта, даврий, ажратиш коэффициенти, ғисоби, ультрафилтрлаш, осмос, унумдорлик.*

#### Умумий тушунчалар

Эмульсиядаги суюқлик томчиларни ва суспензиядаги қаттиқ модда заррачаларини марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш жараёни *центрифугалаш* дейилади. Центрифугалаш жараёни *центрифугаларда* амалга оширилади.

Центрифугалаш пайтида ҳосил бўлган марказдан қочма кучлар чўктириш жараёнидаги оғирлик кучи ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан кўпроқ таъсир қилади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун қўлланиладиган чўктириш ва филтрлаш жараёнларига нисбатан 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 *фугат* дейилади. Ҳосил бўлган чўкма барабан ичида қолиб, суюқ фаза эса ажратиб олинади.

Турли жинсли аралашмаларни ажратиш принципига кўра центрифугалар икки турга бўлинади:

1. *Филтрловчи центрифугалар*
2. *Чўктирувчи центрифугалар*

Филтрловчи центрифугаларнинг барабани ғоваксимон 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. Барабаннинг айланиши натижасида марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия барабан деворлари томон ҳаракат қилади. Зичлиги катта бўлган суюқлик ва қаттиқ фазалар барабан деворлари яқинида, зичлиги камроқ бўлган бошқа фаза эса ўқ атрофида йиғилади.

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 (оғирлик кучи) ва пичоқ билан туширилади. Узлуксиз ишлайдиган центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида инерцион ва пулрсацион кучлар таъсирида туширилади.

Центрифугаларнинг иш унумдорлиги ажратилиш коэффициентига боғлиқ. Ажратиш коэффициенти центрифугаларда марказдан қочма кучлар майдонида ҳосил бўлган кучланиш билан ҳарактерланади. Центрифугада ҳосил бўлаётган марказдан қочма кучлар миқдорининг оғирлик кучи тезланишдан неча марта кўплигини кўрсатувчи катталиқ *ажратиш коэффициенти* дейилади ва қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$k_a = w^2 / r g$$

бу ерда  $r$  - барабан радиуси;  $w$  - айланаётган барабаннинг бурчак тезлиги;  $g$  - эркин тушиш тезланиши.

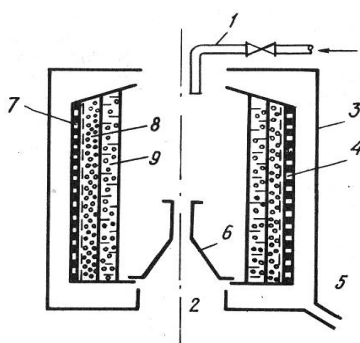
Ажратиш коэффициентига кўра ҳамма центрифугалар икки гуруҳга бўлинади:

1. *Нормал центрифугалар* ( $Ra < 3500$ ). Бундай центрифугалар суспензиялардан катта, ўртача ва майдароқ заррачаларни ажратиш учун ишлатилади.

2. *Ўрта центрифугалар* ( $Ra > 3500$ ). Бундай центрифугалар майда заррачали суспензияларни ва эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади.

Саноатда эмульсия ва суспензияларнинг таркибига қараб, уларни ажратиш учун турли хилдаги центрифугалар ишлатилади.

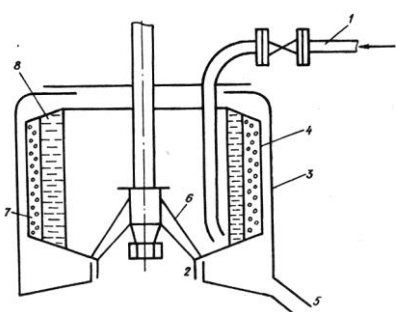
**Фильтрловчи центрифуга.** Бу центрифуга барабандан ёки ротордан иборат. Барабаннинг ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг устки юзаси майда



тешикли материал билан қопланган. Труба орқали барабанга турли жинсли суспензия берилади. Барабан электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Барабан ичидаги суспензия айланма ҳаракат қилганда унга марказдан қочма куч таъсир қилади. Бунда суюқ фазада гидростатик босим ҳосил бўлади. Бу босим центрифугада *фильтрлашнинг ҳаракатлантирувчи кучи* ҳисобланади. Бу куч таъсирида суюқ фаза фильтр тўсиклар устида ҳосил бўлган чўкмадан ўтиб тозаланади.

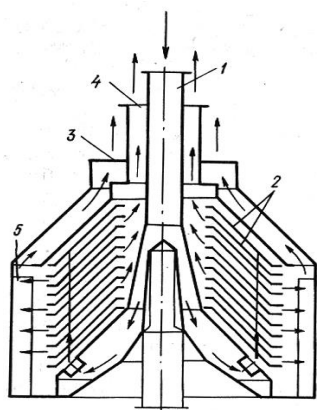
Фильтрловчи центрифугада боровчи жараён учта физик жараёнлар йиғиндисидан иборат: чўкма ҳосил қилиш билан фильтрлаш, чўкманинг зичланиши, чўкмадан суюқликни чиқариш. Фильтрат (*фугат*) қурилмадан патрубк орқали чиқарилади. Ажратишдан сўнг чўкма сув билан ювилади. Барча жараёнлар тугагач центрифуга тўхтатилади, конус юқорига кўтарилади ва чўкма туширилади.





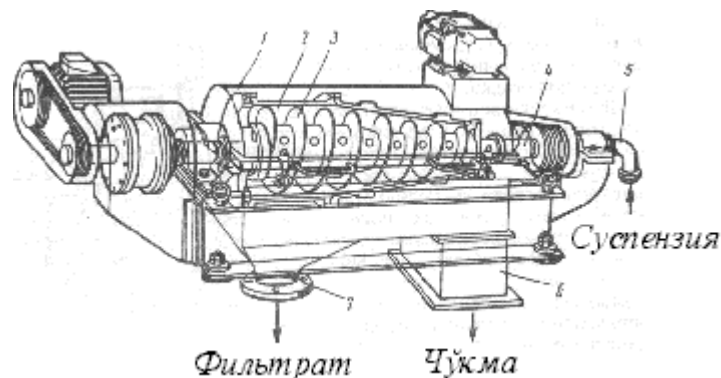
**Чўктирувчи центрифуга.** Чўктирувчи центрифуганинг барабани яхлит бўлади. Бундай центрифуганинг ишлаш принципи чўктириш қурилмаларининг ишлашига ўхшаш. Турли жинсли система барабанга труба орқали берилади. Барабанинг айланишида марказдан қочма куч таъсирида зичлиги каттароқ бўлган компонент барабанинг иш юзасига йиғилади, зичлиги камроқ бўлган компонент эса айланиш ўқиға яқинроқ жойда йиғилади. Фугат труба орқали ташқарига чиқарилади. Чўкма қатлами амалий жихатдан барабани тўлдиргандан сўнг, қурилма тўхтатилади, сўнгра чўкма туширилади.

**Тарелкали сеператорлар.** Бундай сеператорлар эмульсиялар ва майда заррачали суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Тарелкали



сеператорларнинг ичига бир неча конуссимон тарелкалар ўрнатилган. Шу сабабли суюқлик бир неча юпка қатламларга бўлинади. Натижада суюқлик ламинар режим билан ҳаракат қилади ва шунинг учун заррачаларнинг чўкиш йўли камаяди. Аралашма марказий труба орқали пастга тушади. Марказий труба барабан билан бирга айланади. Марказдан қочма куч таъсирида суюқлик қурилманинг деворлари томон ҳаракат қилади, сўнг тарелкаларга ўтади. Енгил суюқлик марказий трубага яқин жойга йиғилади ва юқорига томон ҳаракат қилиб, қурилмадан чиқиб кетади. Оғирроқ, қуюқлашган компонент эса қурилма девори ёнига йиғилиб, сўнгра юқорига томон ҳаракат қилади ва бошқа патрубкдан чиқиб кетади.

**Узлуксиз ишлайдиган, чўкмани шнекда тўкувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга (НОГШ).** Ушбу қурилма ротор 2 ва қобик 1 да ўрнатилган шнекли мослама 3 лардан таркиб топган (10.4-расм). Суспензия марказий труба 5 орқали ғовак ўқ 4 га узатилади.



**10.4-расм. Узлуксиз ишлайдиган, чўкмани шнекда тўкувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга.**

1 - қобик; 2 - ротор; 3 - шнекли мослама; 4 – ғовак ўқ; 5 - марказий труба; 6 – чўкма камераси; 7 – фугат чиқариш патрубкиси.

Ушбу трубадан чиқишда суспензия марказдан қочма куч таъсирида ротор бўшлиғида тақсимланади. Қобикдаги ғовак цапфаларда ротор 2 айланиб туради. Шнек эса, ротор ичидаги цапфаларда айланади. Марказдан қочма куч таъсирида қаттиқ заррачалар ротор деворига қараб ҳаракат қилади, суюқлик эса ички ҳалқа ҳосил қилади. Бу суюқлик ҳалқасининг қалинлиги ротор ён томонидаги тўкиш тешиklarининг жойлашиши билан аниқланади. Ротор бўйлаб чўкма ҳаракат қилганда йўл – йўлакай зичланиб боради. Технологик зарурият бўлса, чўкма ювилиши ҳам мумкин.

Фугат эса, тўкиш тешиklar орқали фугат камерасига йиғилади ва патрубк 7 дан ташқарига чиқарилади.

НОГШ типдаги центрифуга катта иш унумдорликка эга ва юқори концентрацияли майин, дисперс суспензияларни ажратиш учун қўлланилади. Бундай центрифугаларнинг суспензия бўйича иш унумдорлиги ушбу формуладан топилади:

$$V = \frac{3,5D_T^2 \cdot L_T(\rho_3 - \rho)d^2 n^2}{\mu} \quad (10.1)$$

бу ерда;  $D_T$ ,  $L_T$  - тўкиш цилиндрининг диаметри ва узунлиги, м;  $\rho_3$ ,  $\rho$  - заррача ва муҳит зичликлари, кг/м<sup>3</sup>;  $d$  - заррачанинг энг кичик диаметри, м;  $n$  - роторнинг айланиш частотаси, мин<sup>-1</sup>;  $\mu$  - динамик қовушоқлик коэффиценти, Па·с.

Чўктирувчи центрифугалар иш унумдорлиги эса ушбу формуладан ҳисобланади:

$$V = \eta F w_k \quad (10.2)$$

бу ерда:  $\eta$  - пропорционаллик коэффиценти;  $F = 2\pi R_0 L$  - ротордаги суспензия кўзгуси майдонининг юзаси (бу ерда  $R_0$  - суспензия ҳалқасимон қатламининг ички радиуси, м;  $L$  - ротор узунлиги, м) м<sup>2</sup>;  $w_u = w_{чук} \cdot K$  - марказдан қочма куч таъсиридаги чўкиш тезлиги, м/с (бу ерда  $w_{чук}$  – оғирлик кучи таъсирида чўкиш тезлиги, м/с;  $K$  - ажратиш коэффиценти).

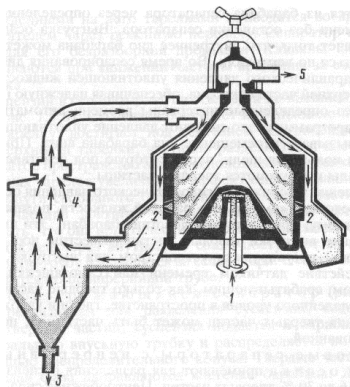
(10.2) тенглама ёрдамида чўкмани пичоқ билан кесиб оладиган чўктирувчи центрифуга иш унумдорлигини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш мумкин:

$$V = 25,3 \cdot \eta L n^2 R_0^2 w_{чук} \cdot k \quad (10.3)$$

бу ерда:  $k$  - суспензия ўзатиш вақтининг центрифуга умумий ишлаш вақтига нисбати.

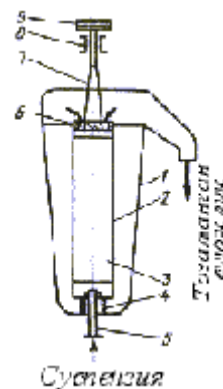
Соплоли сепараторларнинг бир тури бўлиб **бактофуга** ҳисобланади (10.5-расм). Бактофуга герметик, юқори тезликда айланувчи соплоли сепаратор бўлиб, аралашмаларни тозалаш учун мўлжалланган. Ушбу сепаратор таркибида совитиш ғилофи ва концентратни деаэрация қилиш циклони ҳам бўлади.

Бактофугалар афзалликлари: юқори ажратиш коэффициентлари; концентрат қаттиқ заррачалари узлуксиз равишда тўкилиб туради; технологик ва тозаланган суюқликлар кириши ва чиқишининг герметиклиги, сепарация жараёнида унинг совитилиши; ифлосланган ҳаво сирқиб кетиш олдини олувчи мослама борлиги.



10.5-расм. Бактофуга схемаси.

1 - ғовак ўқ орқали бошланғич суюқлик кириши; 2 - сопло орқали концентрат чиқиши; 3 - циклондан деаэрация қилинган концентрат чиқиши учун штуцер; 4 - циклонда циркуляция қилинган ҳаво оқими; 5 - бактофугада тозаланган суюқлик чиқиш штуцери.



10.6-расм. Ўта самарали центрифуга.

1 - қобик; 2 - ротор; 3 - паррак; 4 - кўтаргич; 5 - труба; 6 - тозаланган суюқлик чиқиш тешиги; 7 - шпиндель; 8 - таянч; 9 - шкив.

Ҳосил бўлаётган чўкмани узлуксиз тўкиб туриш учун четда жойлашган 2 та сопло мўлжалланган. Технологик суюқлик ғовак ўқ 1 нинг пастки қисмига юборилади ва марказдан қочма куч таъсирида ҳамма тарелкаларга бир хилда тақсимланади. Оғир фаза узлуксиз равишда озгина микдордаги суюқ фаза билан сопло орқали чиқарилади. Тозаланган суюқликнинг асосий қисми штуцер 5 орқали чиқарилади. Соплодан чиқаётган нам концентрат центрифуга қопқоғида йиғилади, сўнг эса деаэрация учун циклонга юборилади. Тайёр концентрат циклоннинг штуцери 5 дан тўкилади. Ифлосланган ҳаво циклон ва барабан қопқоғи орқали циркуляция қилади. Бундай бактофугалар сут таркибидаги бактерияларни тозалаш (99% гача), фармацевтика соҳасида чўкиб қолган оқсиллар (гамма – глобулин) ва турли ферментларни ажратиш олиш учун қўлланилади.

Ўта самарали центрифуга роторининг кичик диаметри  $d < 200$  мм бўлиб, катта тезликда ( $< 4500 \text{ мин}^{-1}$ ) айланади. Бу қурилмаларнинг ажратиш коэффициентлари 15000 га тенг (10.6-расм).

Бу турдаги центрифугаларда жуда майин дисперс суспензия ва эмульсия (ёғсизлантирилган сут) лар ажратилади.

### Центрифугаларни ҳисоблаш

Центрифугаларда юзага келадиган марказдан қочма куч қуйидаги тенгламадан топилади:

$$G = Mn^2R = M\omega^2R = 40 Mn^2R = 20 Mn^2D$$

бу ерда  $M$  - центрифуга барабани ичида жойлашган чўкма ва суюқликнинг массаси, кг;  $\omega$  - бурчак тезлиги,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D = 2R$  - барабаннинг диаметри, м;  $R$  - барабаннинг радиуси, м;  $n$  - центрифуганинг айланишлар частотаси,  $\text{с}^{-1}$ .

Центрифугалаш пайтидаги фильтрлашнинг босими куйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P_{\text{ц}} = G / F$$

бу ерда  $F = \pi D H$  — ўртача фильтрлаш юзаси,  $\text{м}^2$ ;  $D$  - барабаннинг баландлиги ёки фильтрлаш зонасининг узунлиги, м.

$\Delta P_{\text{ц}}$  нинг қиймати куйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\Delta P_{\text{ц}} = 20 \rho_c n^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5 \rho_c n^2 (D_2^2 - D_1^2)$$

бу ерда  $\rho_c$  - суспензиянинг зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $D_1 = 2R_1$  - суюқлик ички қатламининг диаметри, м;  $D_2 = 2R_2$  - барабаннинг ички диаметри, м.

Чўкмаси пичоқ билан олинадиган чўктирувчи центрифуганинг иш унумдорлиги куйидаги тенглама билан аниқланади:

$$V_{\text{ц}} = 25,3 \eta L n^2 R_o^2 w_3 k$$

бу ерда  $L$  - барабаннинг узунлиги, м;  $R_o$  - суспензия ҳалқасимон қатламининг ички радиуси, м;  $w_3$  - заррачанинг чўкиш тезлиги, м/с;  $\eta$  - центрифуганинг ҳақиқий ва назарий иш унумдорликларининг нисбатини олувчи коэффицент ( $\eta=0,4 - 0,5$ );  $k$  - суспензияни бериш вақтини центрифуганинг умумий ишлаш вақтига нисбати.

### Назорат саволлари

1. Центрифугалар қандай турларга бўлинади.
2. Тарелкали сепараторни тушунтириб беринг.
3. Чўктирувчи ва фильтрловчи центрифуганинг ишлаш принципида қандай фарқ бор?
4. Ультрафильтрлаш жараёнининг моҳияти нимадан иборат?
5. Ғовакли мембраналар қандай талабларга жавоб бериш керак?
6. Бактофуганинг иш принципини тушунтиринг.
7. Марказдан қочма куч қандай тенгламадан топилади?
8. Центрифугалаш пайтидаги фильтрлашнинг босими қандай тенгламадан топилади?

## 11 - Маъруза

### Мавзу: Газларни тозалаш

#### Режа:

1. Саноат газларини тозалаш усуллари.
2. Чанг чўктириш камераси.
3. Марказдан қочма куч таъсирида чўктириш.
4. Циклонлар. Чангларни ювиб тозалаш.

*Таянч сўзлар ва иборалар:* тозалаш мақсади, усуллари, филтёр, циклон, даража, ажратиш, параметрлар, қаршилик, уюрмали, ротацион, мақсади, камчилиги, синфлари, скруббер, насадка, тарелка, мавҳум қайнаш, филтёр, танлаш, самарадорлиги.

#### Саноат газларини тозалаш усуллари

Кимё саноати корхоналаридан чиқаётган газ аралашмаларини тозалаш технологик жиҳатдан муҳим ва катта аҳамиятга эга.

Газлар куйидаги мақсадларда тозаланади:

- 1) газ аралашмаларидан қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиб олиш учун;
- 2) жараёнга салбий таъсир қилувчи ва қурилмаларни бузилишга олиб келувчи газ аралашмаларини чиқариб ташлаш учун;
- 3) атроф-муҳит ҳавосини ифлосланишини камайтириш учун.

Ишлаб чиқариш жараёнларида ҳосил бўладиган ҳар хил физик кимёвий хусусиятларга эга бўлган газ аралашмалари турли жинсли газ дейилади. Газ аралашмалари таркибидаги заррачаларнинг ўлчамига қараб икки системага бўлинади: механик ва конденсирланган.

Қаттиқ моддалар майдаланганда, уларни бир жойдан иккинчи жойга узатганда қаттиқ моддаларнинг газларда тақсимланиши механик система ёки чанглар дейилади. Аралашмадаги қаттиқ модда заррачаларининг ўлчами 5-50 микронгача бўлади.

Конденсирланган система суюқликларни буғлатганда, қуритиш жараёнларида буғларнинг суюқликка айланишида ҳосил бўлади. Бунинг натижасида тутун ва туман пайдо бўлади.

Саноатда газларни тозалаш куйидаги усулларда олиб борилади:

- 1) марказдан қочма кучлар таъсирида чўктириш.
- 2) филтёр тўсиқлар ёрдамида ажратиш.
- 3) газларни намлаш усули билан тозалаш.
- 4) юқори кучланишли электр майдон ёрдамида тозалаш.

Газларни тозалаш учун чўктириш камерали, циклонлар, филтёрлаш қурилмалари, (скруббер ва электрофилтёрлар) ишлатилади.

Амалда газ аралашмаларидаги майда заррачаларни биргина тозалаш қурилмаларида бутунлай ажратиш мумкин эмас, шунинг учун икки ва кўп босқичли қурилмалар ишлатилади, яъни аввал катта заррачалар чанг чўктириш камераларида, сўнгра электрофилтёрларда чўктирилади.

Ҳар бир қурилманинг унумдорлиги газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси билан аниқланади:

$$n = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100\%$$

бу ерда  $G_1$  ва  $G_2$  - тозаланган ва тозаланмаган газ аралашмасининг қаттиқ заррачалар миқдори;  $V_1$  ва  $V_2$  – дастлабки ва тозаланган газ аралашмасининг ҳажми;  $x_1$  ва  $x_2$  – чангли ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар концентрациялари,  $\text{кг/м}^3$ .

### Чанг чўктириш камералари

Оғирлик 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 ортмай-ди. Чанг чўктириш камераларининг ўлчамлари анча катта бўлади. Қаттиқ заррачаларнинг яхши чўкиши учун газ оқимининг тезлиги 3 м/с дан ошмаслиги керак. 11.1- расмда чанг чўктириш камерасининг схемаси кўрсатилган.



#### 11.1- расм. Чанг чўктириш камералари:

а - горизонтал камера; б - кўп полкали камера;  
в - тўсиқли камера; г - сим пардали камера.

Энг оддий тузилишга эга чанг чўктириш камераси 11.1- расм, а да кўрсатилган. Чангли газ оқими сепарацион бўшлиқда секин ҳаракат қилади, қаттиқ заррачалар эса чанг йиғадиган секциялардан бирига тушади. Бундай конструкция оддий тузилишга эга бўлса ҳам катта жойнй эгаллайди. Газ оқимининг секин ҳаракатини таъминлаш учун сепарацион камеранинг ҳажми анча катта бўлади.

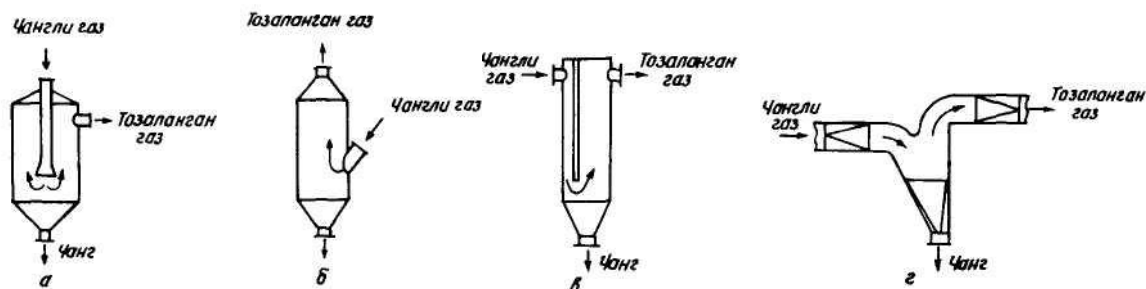
Кўп полкали камерада (11.1-расм, б) сепарацион бўшлиқ горизонтал полкалар ёрдамида бир неча секцияларга бўлинган. Бундай шароитда чанг заррачасининг чўкиш вақти анча камаяди. Чангни чиқариш учун полкалар қия қилиб жойлаштирилади. Полкалар қўзғотувчи қурилмалар билан таъминланиши мумкин.

Тўсиқлари бўлган камерада (11.1- расм, в) гравитацион кучдан ташқари инерцион кучдан ҳам фойдаланилади. Оғирлик ва инерцион кучлардан биргаликда фойдаланиш қурилмаларнинг тозалаш даражасини кўпайтиришга олиб келади.

11.1-расм г да кўрсатилган камеранинг сепарацион бўшлиғида ҳалқали ёки симли парда жойлаштирилган бўлади. Бундай пардаларга газ оқими урилганда филтрланиш жараёни юз бериб, чанг ажралади тасодифий турбулент оқимлар эса бузилади.

Инерцион чанг ушлагичларда тозалаш даражасини ошириш учун оғирлик кучидан ташқари инерцион кучлардан фойдаланилади. Бундай ҳолатда қурилманинг ўлчами анча камаяди.

11.2-расмда энг оддий инерцион чанг ушлагичнинг схемаси кўрсатилган. Инерцион чанг ушлагичнинг ишлаш принципи қуйидагидан иборат: чангли газ оқими йўналишининг бирдан ўзгариши пайтида, қаттиқ заррачаларнинг зичлиги ҳаво зичлигига нисбатан тахминан 1000 маротаба катта бўлганлиги сабабли, заррачалар ўз инерцияси билан олдинги йўналишда ҳаракатини давом эттириб, газдан ажралгандан сўнг, чанг йиғгичга тушади, тозаланган газ оқими эса қурилмадан ташқарига чиқиб кетади.



**11.2-расм. Инерцион чанг ушлагичлар:**

а - марказий қисмдан газ берилади; б - ён томондан газ берилади; в - қайтарувчи тўсиқли;  
г - газ оқимини йўналиши ўзгаради.

11.2-расм, а, б, да кўрсатилган чанг тутгичларни чангли қоплар 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 қопнинг ажратиш даражаси 65-7-85 % 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 - 390 Па.

Қайтарувчи тўсиқли чанг тутгич (11.2- расм, в) нинг самарадорлиги чангли қопларникига нисбатан кам, қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам анча кичик. 11.2- 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.

## Марказдан қочма куч таъсирида ажратиш

Оддий чўктириш қурилмаларида газ аралашмасидаги майда чангларни ажратиш қийин. Чўктириш қурилмаларининг габарити катта бўлиб кўп жой эгаллайди ва тозалаш даражаси кичик. Шунинг учун саноатда циклонлар ишлатилади. Циклон цилиндрлик ва конуссимон қисмлардан иборат. Чангли газ циклонга тангенциал йўналишда 15-20 м/с тезликда киради, сўнгра пастга спиралсимон айланма ҳаракат билан йўналади. Натижада марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида газ оқимидаги каттиқ заррачалар ўқдан циклоннинг ички девори томон ҳаракатланади ва деворга урилиб ўз кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида пастга тушади. Тозаланган газ марказий труба орқали қурилмадан чиқиб кетади. Циклондаги чангли газларни тозаланиш даражаси каттиқ заррачаларнинг катталиги, газ оқимининг тезлиги ва қурилманинг геометрик ўлчамига боғлиқ бўлади. Циклонларнинг диаметри 100 -1000 мм гача, чангли газларнинг тозаланиш даражаси 30-85%га тенг.

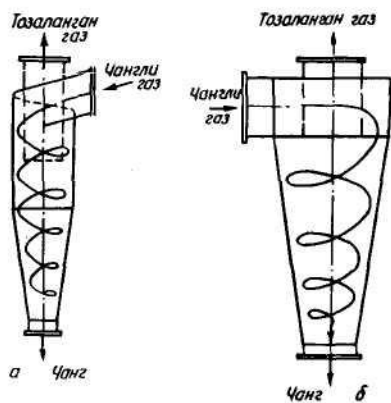
Циклонлар тузилишига кўра икки турга бўлинади: цилиндрлик ва конуслик (11.3- расм). Цилиндрлик циклонларда қобикнинг цилиндрлик қисми анча узун қилиб, конуслик циклонларда эса конуссимон қисми анча узун қилиб тайёрланган бўлади. Цилиндрлик циклонлар юқори иш унумдорликка, конуслик циклонлар эса юқори тозалаш даражасига эга. Бироқ конуслик қурилмаларда босимнинг йўқолиши кўпроқ бўлади. Конуслик циклонларда юқоридан пастга қараб кўндаланг кесим юзасининг камайиб бориши сабабли қурилма девори яқинида чанг заррачаларининг ажралиши тезлашади: Цилиндрлик циклоннинг диаметри 2 м дан, конуслик 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 тозалашни таъминлайди; 3) қиялик бурчаги  $11^\circ$  (ЦН-11) юқори самарадорликка эга ва такомиллаштирилган чанг ушлагич сифатида таклиф этилган.

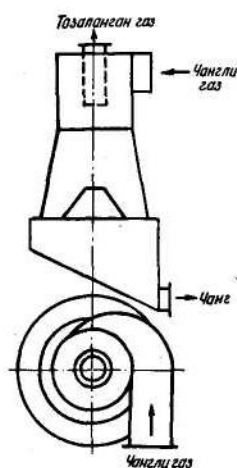
ВЦНИИОТ конструкцияли циклоннинг схемаси кўрсатилган. Ушбу циклоннинг конуси юқоридан пастга қараб кенгайган. Қурилма кўндаланг кесимининг кенгайиши таъсирида газнинг айланма ҳаракати ва заррачанинг деворга босими камаяди. Шу сабабдан бундай циклонларни газ таркибидан юқори абразив хоссага эга бўлган заррачаларни ажратиш олиш учун ишлатиш керак.

Циклонларни сўриш ёки ҳайдаш линияларига ўрнатса бўлади. Бироқ, айниқса газ оқимининг таркибида абразив ёки ёпишувчан заррачалар бўлса вентиляторларнинг ишлаш муддатини узайтириш учун циклонларни сўриш линиясига, вентилятордан олдин





11.3- расм. НИИОГАЗ конструкцияли циклон чизмаси. а-цилиндирли, б-конусли



11.4- 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 нуқтасидан 10-25°C юқори бўлишлиги керак. Бунинг учун циклонлар тегишли изоляция қатлами билан қопланади, айрим пайтда уларнинг деворлари қиздирилади. <

Умуман олганда, циклонлар таркибида 400 г/м<sup>3</sup> гача қаттиқ фаза тутган чангли газларни тозалаш учун ишлатилади. НИИО газ томонидан ишлаб чиқарилаётган циклонларнинг диаметри 100-1000 мм га, чангли газларнинг тозаланиш даражаси 30-г85 % га тенг. Чангли газ аралашмаларидаги каттиқ заррачаларнинг диаметри катталашган сари газларнинг тозаланиш даражаси 90-95% гача ортиши мумкин.

Чангли газ аралашмаларидаги каттиқ заррачаларнинг диаметри катталашган сари газларнинг тозаланиш даражаси 90-95% гача ортиши мумкин.

Циклонларда газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси ажратиш коэффициентга боғлиқ:

$$k_a = \omega^2 / r g$$

бу ерда  $r$  – циклон радиуси, м;  $\omega$  - газ оқимининг тезлиги, м/с.

Бу тенгламадан кўриниб турибдики, газларнинг тозаланиш даражасини ошириш учун газ оқими айланма ҳаракатининг радиусини, яъни циклоннинг радиусини камайтириш ёки газ оқимининг ҳаракат тезлигини ошириш керак.

Циклон қурилмалар қуйидаги афзалликларга эга: тузилиши содда, ҳаракатлантирувчи қисмлари йўқ, фойдаланиш осон, ихчам ва арзон.

Бу циклонларни турли жинсли суюқлик системаларни ажратиш учун ҳам ишлатса бўлади. Бунда улар **гидроциклонлар** дейилади. Гидроциклонларни суспензияларни қуюлтириш ва тозалаш учун, заррачаларни ўлчамига кўра фракцияларга ажратиш ва бошқа мақсадлар учун ҳам ишлатиш мумкин.

Кейинги вақтларда гидроциклонлар билан бир каторда **мультигидроциклонлар** ва **центриклонлар** саноатда қўлланилмоқда. Мультигидроциклонларда кучли марказдан қочма кучлар майдони ҳосил қилинади, уларнинг диаметри 10 – 15 мм га тенг.

Центриклоннинг цилиндрсимон қисмига эса электр двигателр ёрдамида айланадиган ротор - паррак ўрнатилган бўлиб, у кучли марказдан қочма кучлар майдонини юзага келтиради.

**Циклонларни ҳисоблаш.** Циклонларни ҳисоблаш учун қуйидаги параметрлар маълум бўлиши керак:

- тозаланаётган газнинг ҳажми, м<sup>3</sup>/соат;
- газнинг циклонга киришдаги ҳарорати, С;
- газнинг нормал шароитдаги зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;
- газдаги сув буғларининг миқдори, кг/кг ёки %;
- циклонга киришда газ таркибидаги чанг миқдори, г/м<sup>3</sup>;
- чангнинг қовушқоқлиги, зичлиги; Н с/м<sup>2</sup>;
- циклонга киришдаги газнинг босими, Н/м<sup>2</sup>;
- зарурий тозалаш коэффиценти, %;
- чангнинг фракциялар бўйича дисперстик таркиби (массавий %).

Циклонларни ҳисоблаш қуйидаги тартибда олиб борилади. Аввал унинг типни ва диаметри танланади. Сўнгра битта циклондан ёки батареяли циклоннинг битта элементидадан ўтадиган газнинг иш ҳажми топилади:

$$V_c = 0,785 \cdot \omega_\phi \cdot D^2 = 3,48 \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_t \cdot g \cdot \xi}}$$

ёки

$$V_c = 5,8 \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta P(273+t)}{\rho_0 \cdot \rho_t \cdot g \cdot \xi}}$$

бу ерда  $\omega_\phi$  - газнинг мавҳум (шартли) тезлиги, м/с;  $\rho_0$  ва  $\rho_t$  - газнинг нормал ва иш шароитидаги зичлиги, кг/м<sup>3</sup>; D - циклоннинг ёки батареяли циклон элементининг ички диаметри, м;  $\xi$  - циклоннинг гидравлик қаршилик коэффиценти;  $\Delta P$  - газнинг циклонга киришдаги абсолют босими, Па; t - газнинг иш ҳарорати, °С.

Циклонларнинг гидравлик қаршилиги қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_t \cdot \omega_\phi^2}{2}$$

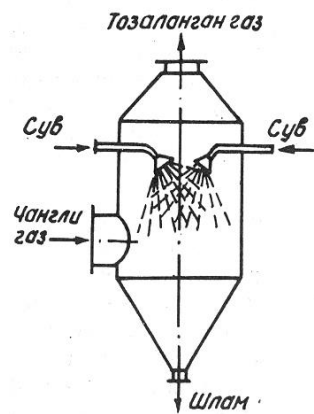
### **Чангларни ювиб тозалаш**

Тоза газ олиш учун чангли газларни сув ёки бошқа суюқликлар билан ювиб уларни чанг заррачаларидан тозаланади. Бунда оқинди сувлар ҳосил бўлиб уларни тозалаш талаб қилинади. Бу усул айниқса совиган газларни тозалаш анча осон, чунки газлар совиганда сув буғлари конденсацияланиб чанглар жамланади ва уларнинг оғирлиги ортиб, чанг заррачалари газдан осон ажралади. Бу қурилмаларни чанг тўтишдан ташқари газларни совитиш ёки

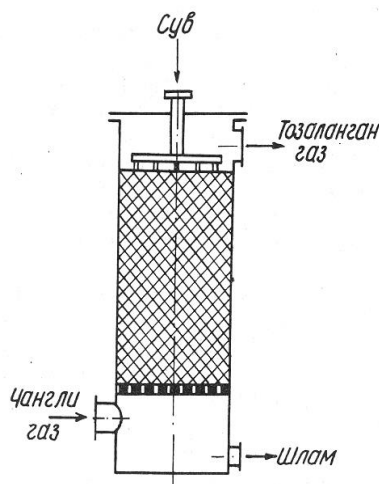
намлаш, туманларни тутиб қолиш, газ қўшимчаларини абсорбциялаш каби ишлар бажарилади.

Газ ювувчи қурилмаларни камчилиги, а) қурилма ва трубопроводлар юзаларига чанг заррачалари ёпишиб қолиши; б) суюқликнинг сарфи анча катта; в) газларни, айниқса агрессив газларни тозалашда коррозиядан ҳимоя қилиш талаб қилинади.

Газ ювувчи қурилмалар қуйидаги синфларга бўлинади: 1) фазалар контакт юзасининг турига кўра: суюқлик сочиб берувчи, насадкали, тарелкали, плёнкали; 2) иш принципига кўра: гравитацион, марказдан қочма, оқимчали ва механик; 3) энергия сарфига кўра: паст босимли, ўрта босимли, юқори босимли қурилмалар.



**Суюқлик сочиб берувчи қурилмалар.** Бундай қурилмалар (*скрубберлар*) ичи бўш қобидан иборат бўлиб, цилиндрсимон ва тўғри тўртбурчакли колонналар кўринишида бўлади. Скрубберлар газ аралашмаси 0,8-1,5 м/с тезликда қурилманинг пастки қисмидан берилади. Скруббернинг юқори қисмидан форсункалар орқали сочилган сув қурилманинг баландлиги бўйлаб девор юзаси бўйлаб ҳаракат қилиб, газ қурилманинг юқори қисмидан чиқиб кетади. Оддий скрубберларда газ аралашмасининг тозаланиш даражаси 60-75% бўлади. Заррачанинг ўлчами 10 мкм дан катта бўлса 99% ни ташкил этади.



**Насадкали скрубберлар.** Тозалаш жараёнининг интенсивлигини ва тезлигини ошириш учун насадкали скрубберлар кўп ишлатилади. Насадкалар газ фазаси билан суюқлик фазалари орасидаги контакт юзасини оширади. Насадкали скрубберларда корпуснинг ичига насадкалар тартибли ва тартибсиз жойлаштирилади. Кўпинча кокс, кварц ва ҳалқасимон насадкалар ишлатилади. Насадкали скруббернинг ўртача тозалаш даражаси 75-85% бўлади. Бироқ ўлчами 2 мкм дан катта бўлган заррачаларни тутганда тозалаш даражаси 90% дан ортиб кетиши мумкин. Насадкали скрубберлар оддий скрубберларга нисбатан самарадорлиги катта, бироқ

уларнинг гидравлик қаршилиги ҳам каттароқ.

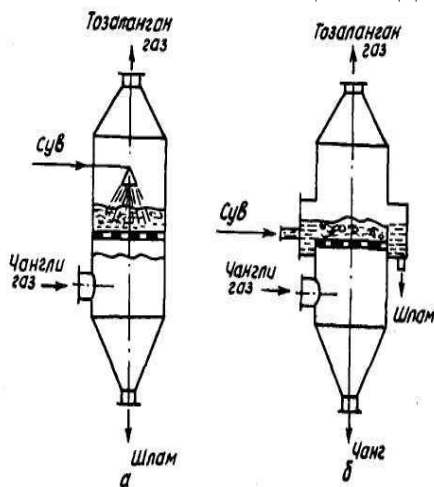
**Марказдан қочма скрубберлар.** Газ аралашмаси тангенциал йўналишда қурилма корпусининг цилиндр қисмига кириб, марказдан қочма куч таъсирида айланма ҳаракат қилади. Корпус девори юзасидан сопло орқали берилган сув плёнкага ўхшаб оқиб туради. Газ марказдан қочма куч таъсирида скруббернинг деворларига урилиб плёнка ҳолида оқаётган сув билан ювилиб тушиб кетади.

Марказдан қочма скрубберларда оддий ва насадкалига нисбатан газ аралашмасини тозалаш даражаси юқори бўлиб, ўлчамлари 5-30 мкм заррачалар учун 95% гача ва заррачаларнинг ўлчами 2-5 мкм бўлганда 85-90% га тенг бўлади.

**Тарелкали газ ювувчи қурилмалар.** Бундай қурилмаларда газ билан суюқлик ўртасидаги контакт гаризонтал жойлашган тарелкалар устида юз беради. Газнинг тезлиги кичик бўлганда (1 м/с атрофида) газ суюқлик қатлами орқали ўтиб пуфаклар ҳосил бўлади, бу жараён *барботаж жараёни* дейилади. Агар газнинг тезлиги катта бўлса турбулентлашган кўпик қатлами ҳосил бўлади. Шу сабабдан тарелкали скрубберлар 2 турга *кўпикли* ва *барботажлига* бўлинади.

Саноатда *кўпик қатламли* тарелкали скрубберлар кенг ишлатилади. Тарелкадаги газларнинг тезлиги 2,5-4,5 м/с, тешикларнинг диаметри 4-8 мм, тозалаш даражаси 99% гача. Бу қурилмалар кимё ва металлни қайта ишлаш саноатида, айниқса минерал ўғитлар ишлаб чиқаришда газларни фтор, олтингурут, фосфор чангларидан тозалашда яхши самара бермоқда.

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) 0,2-0,5 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Қўйилиш тарелкали қурилмаларда қалпоқчали, S- симон, йиғичи бўлган тешикли ва бошқа типдаги тарелкалардан фойдаланилади.



11.7- расм. Кўпикли газ ювувчи қурилма.

а – ағдарилма тарелкали;  
б – қўйилиш тарелкали.

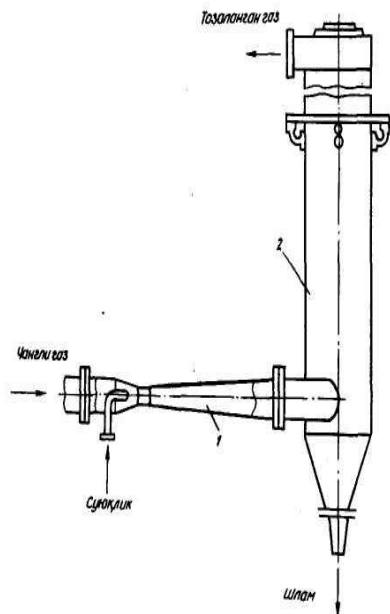
11.7 - расмда кўпик ҳосил қилувчи тарелкали газювувчи қурилмаларнинг икки тури кўрсатилган: а) ағдарилма тарелкали; б) қўйилиш тарелкали.

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. Саноатда

кўпик қатламини барқарорлаштириб турадиган қурилмаси бўлган тарелкали скрубберлар кенг ишлатилмоқда.

Барқарорлаштирувчи қурилма (стабилизатор) кўпикли 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 солиштира сарфи 0,05-0,1 л/м<sup>3</sup>. Кўпикли қурилмалар кимё ва металлни қайта ишлаш саноатида, айниқса минерал ўғитлар ишлаб чиқаришда газларни фтор, олтингурут, фосфор чангларидан тозалашда яхши самара бермоқда.



### 11.8-расм. Вентури скруббери.

1-сууюқликни сочиб берувчи труба;  
2-циклон томчи ушлагич.

ажралиши юз беради. Бу ерда сууюқлик томчилари чанг заррачаларини ўзи бияан бирга олиб кетади. Томчиларнинг газ оқимидан ажралиш жараёни циклон - томчи ушлагич (2) да рўй беради.

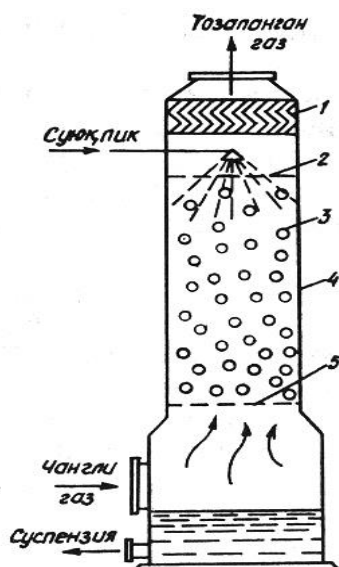
Бўғиздаги газнинг тезлиги 60-150 м/с га етади. Сууюқлик ортиқча босим (0,03-0,1 мПа) билан берилади. Диффузорда оқимнинг тезлиги 20-25 м/с гача камаяди. Циклонда газ-сууюқлик оқимининг тезлиги 4-5 м/с ни ташкил қилади.

Вентури скрубберида чанг заррачаларини ушлаб турган сууюқлик томчиларига нисбатан газнинг катта тезлигига эришилади. Шу сабабдан Вентури қурилмасида газ таркибидаги ўлчами 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 скруббер.** Бундай газ юувчи қурилманинг чизмаси 11.9-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 қўзғалмас 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.

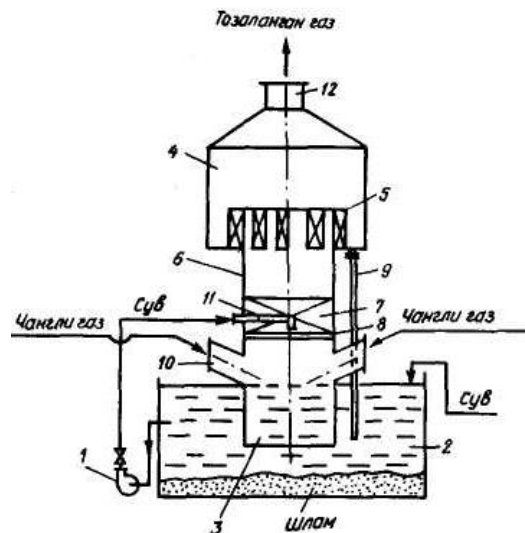
**Вентури скруббери.** Бундай қурилма сууюқликни сочиб берувчи труба (Вентури трубаси) ва сууюқлик томчиларини газ оқимидан ажратадиган сепаратордан ташкил топган (11.8- расм). Вентури трубаси 1 тораювчи қисм (конфузор), қиска цилиндрсимон қисм (бўғиз) ва кенгайиб борувчи қисм (диффузор) лардан тузилган. Сууюқлик махсус сочиб берувчи қурилма ёки механик форсунка ёрдамида конфузор (ёки бўғиз) га берилади. Трубанинг характе-ристикалари қуйидагича ўзгариши мумкин: конфузорнинг 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 силлиқлантирилади.

Газ - сууюқлик оқимининг бўғиздан кейин диффузорга ўтиб, кенгайиши пайтида сууюқликнинг қўшимча майда томчиларга



**11.9 – расм. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги шарсимон насадкали скруббер.**

1 – томчи ушлагич; 2 – юқориги чегарали панжара; 3 – насадка қатлами; 4 – цилиндрсимон қобик; 5 – пастки таянч панжараси.



**11.10 – расм. Айланиб юрувчи насадкали ва сууюқлик циркуляция қилиб бериладиган чанг тутгич.**

1 – насос; 2 – шлам йиғич; 3 – қурилма куби; 4 – сепаратор; 5 – уурма ҳосил қилувчи қурилма; 6 – қурилманинг иш соҳаси; 7 – айланиб юрувчи насадкали қатлам; 8 – таянч панжараси; 9 – қуйилиш трубаси; 10 – чангли газ кирадиган штуцер; 11 – форсунка; 12 – тозаланган газ чиқадиган потрубок.

Қайновчи қатламли насадкали скрубберларда кўпинча паст унумли ва шар шаклидаги насадкали ишлатилади. Қурилма тўла мавҳум қайнаш режимда ишлайди. Унинг юқори қисмидан сууюқлик форсунка ёрдамида сочиб турилади. Газнинг тезлиги 4-6 м/с бўлади. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги насадкалар таъсирида газ оқими турбулизация қилинади, фазалар ўртасидаги юза кўп мартаба янгиланади, оқибатда газ билан сууюқлик яхши контактга учрайди.

Тошкент кимё-технология институти «Кимёвий технология жараёнлари ва қурилмалари» кафедрасида қайновчи қатламли насадкали скурубберлар учун насадканинг турли хиллари - кублар, ҳалқачалар, ҳар хил қаршилиқ коэффициентига эга бўлган шарлар ишлаб чиқаришга жорий қилинди ва натижада қурилманинг самарадорлиги икки марта ортди.

**Айланиб юрувчи насадкали скрубберлар.** Ҳозирда мавҳум қайнаш қатламли газ юрувчи қурилмаларнинг қатор самарали конструкциялари ишлаб чиқилди. Жумладан, Тошкент Давлат техника университети мутахассислари томонидан айланиб юрувчи насадкали скруббернинг бир неча янги турлари таклиф этилди. Насадкалар айланиб юрувчи ҳолатга етганида қатламдаги бўш ҳажмнинг улуши  $\varepsilon = 1$  бўлади. Ушбу скрубберлар Чирчиқ шахридаги

Ўзбекистон қийин эрувчан ва ўтга чидамли металлар комбинатининг газларни чангдан тозалаш системасида муваффақиятли ишлатилмоқда.

11.10- 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 кирадиган штуцер вертикал, ўққа нисбатан 5-10° қиялик билан ўрнатилган. Суюқлик панжара юзаси томонга қараб, сочиб берувчи қурилма (2) ёрдамида тарқатилади. Панжаранинг устннда насадка қатлами (7) жойлашган. Панжара орқали ўтган газ оқими насадкаларни айланиб юрувчи ҳолатга келтиради. Газнинг тезлигига кўра суюқлик панжара орқали қисман ағдарилиб, қурилманинг куб қисмига тушади ёки иш зонаси (6) орқали қурилманинг юқориги қисмидаги сепаратор (4) га ўтади. Сепараторда марказдақ қочма уярма ҳосил қилувчи (5) ёрдамида суюқлик газдан ажралади. Ажралган суюқлик қуйилиш трубаси (9) орқали шлам йиггичга тушади. Тозаланган газ патрубок (12) орқали атмосферага чиқарилади, Газнинг тезлиги 3—12 м/с чегараларида ўзгариши мумкин.

### **Газ тозалаш 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 усулларида фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Газни тозалаш даражасига бўлган талаб атмосфера ҳавоси тозалигининг зарур бўлган санитария-гигена нормалари билан технология ускуналарининг ишлаш шартлари билан боғлиқ бўлади. Газ тозалайдиган қурилмаларни ва уларнинг материалларини танлашда газ таркибида намлик ва агрессив компонентларнинг борлиги, уларнинг миқдори ва ҳарорати ҳисобга олинади.

Тозалашнинг тегишли даражаси қурилманинг турини, конструкциясини ва ўлчамини тўғри танлаш ва уни тўғри ишлатиш орқали эришилади. Чанг ушлашни яхшилаш одатда қурилманинг ўлчамини ёки унинг энергия хажмини кўпайтиришни талаб қилади. Масалан, енгли филтрлар, чўктириш камералари, электрофилтрлар газнинг тезлиги кам бўлганда, яъни қурилманинг ўлчами катта бўлганда анча самарали ишлайди.

Чанг ушлагичнинг тегишли турини танлашда унинг имкониятлари ҳисобга олиниши керак. Чангли камералар, циклонлар ва бошқа инерцион чанг ушлагичлар арзон ва тузилиши оддий, бироқ улар газ таркибидаги фақат катта заррачаларни ушлаши мумкин.

Енгли филтрлар ва электрофилтрлар ёрдамида газ тозалашнинг юқори даражасига эришилади, бунда аралашма таркибидаги майда заррачалар ҳам тутиб қолинади, бироқ газни тозалашда олдин маълум ҳароратгача иситиш талаб қилинади. Катта тезлик билан ишлайдиган газ ювувчи қурилмалар ишлатилганда газ таркибидаги жуда кичик заррачаларни ушлаш имконияти пайдо бўлади, бироқ уларни ишлатиш учун кўп энергия талаб қилинади. Нам

чанг ушлагичлар ишлатилганда ҳосил бўлган суспензияларни қайта ишлашга ҳамда қурилмаларни коррозиядан ҳимоя қилишга аҳамият берилади.

Зарур бўлган тозалаш даражасига кура 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 туғдирмайди.

Газларни ўта майда заррачалардан ажратишда тозалашнинг кўп босқичли тасвиридан 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 енгли фильтрлар, электрофильтрлар ва уюрмали чанг туггичлар ишлатилади.

### **Назорат саволлари**

1. Газларни чанглардан тозалашдан мақсад нима?
2. Газсимон аралашмалар қандай усуллар билан ажратилади?
3. Циклоннинг ишлаш принципини тушунтиринг?
4. Уюрмали чанг ушлагичларни иш принципини тушунтиринг?
5. Ротацион чанг ушлагичларни иш принципини тушунтиринг?
6. Газ ювувчи қурилмаларнинг афзаллиги ва камчиликлари нимадан иборат?
7. Енгли фильтрнинг тузилишини тушунтиринг.
8. Электрофильтрларнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Газ тозалайдиган қурилмаларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?
10. Суюқлик сочиб берувчи қурилмани тузилиши ва ишлаш принципини айтинг?
11. Насадкали скрубберлар қандай газларни тозалашда тишлатилади?
12. Марказдан кочма скурубберларни ишлаш принципини ва тузилишини айтинг?



## 12 - Маъруза

### Мавзу: Электростатик майдони таъсирида тозалаш

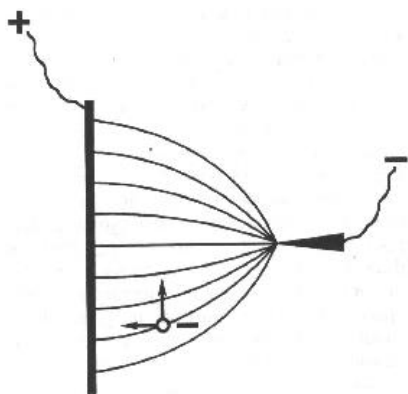
#### Режа:

1. Электростатик кучлари таъсирида чўктириш.
2. Нурланувчи ва чўктирувчи электрод.
3. Электрофильтрлар турлари.

#### Электростатик кучлари таъсирида чўктириш

Электр майдон таъсирида газларни тозалаш электр разряди ёрдамида газ молекулаларининг ионизация қилинишига асосланган.

Агар, газ юқори кучланишли ўзгармас токга уланган икки электрод орасида ҳосил бўлган электр майдонига газ юборилса, унинг молекулалари ионизацияга учрайди, яъни мусбат ва манфий зарядланган заррачаларга ажрайди. Натижада улар куч чизиқлар йўналишида ҳаракат қилиб бошлайди. Зарядланган заррача тезлигининг вектор йўналиши, унинг мусбат ёки манфийлигига боғлиқ бўлса, ҳаракат тезлиги эса - электр майдони кучланганлиги билан белгиланади.



Электр майдон куч чизиқларининг схемаси

Агар электр майдон кучланганлигини 10000В дан оширсак, ион ва электронлар кинетик энергияси шунчалик катталашадики, ҳаракат йўлида учраган газнинг барча нейтрал молекулаларини мусбат ион ва эркин электронларга парчалайди. Янгидан ҳосил бўлган зарядлар ҳам ўз ҳаракат йўналишида газларни ионизацияга дучор қилади. Натижада тўхтовсиз равишда ион ҳосил бўлади ва ҳамма газ ионизацияланади. Бундай жараён **зарбали ионизация** деб номланади.

Газ тўлиқ ионизацияга учраганда, электродлар орасида электр разряди пайдо бўлиши учун шароитлар яратилади. Агар, электр майдон кучланганлиги янада оширилса, учкун сакраб ўтиши, кейин эса электр ўтиши ва электродлар қисқа туташуви бўлиши мумкин. Бундай ҳодисалар олдини олиш учун турли жинсли электр майдони ҳосил қилинади.

Бунинг учун, труба ўқидан ёки икки параллел пластиналар орасида тортилган ингичка симлар кўринишида электрод ясалади.

Сим олдида электр майдон кучланганлиги жуда юқори бўлиб, труба ёки пластина томонга яқинлашган сари камайиб боради. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, труба ёки пластина олдидаги майдон кучланганлиги шундайки, учкун ва электр ўтиш ҳодисалари рўй бермайди.

Тўлиқ ионизацияга оид майдон кучланганлигида электродлар орасида "тожли" разряд ҳосил бўлади. Бунда бутунлай ионизацияга учраган газ қатлами чўғланиб, нур ва чарсилланган овоз чиқаради. "Тож" ҳосил қиладиган электрод **"тожли" электрод** деб номланади. Труба ёки пластина кўринишидаги қарама - қарши зарядланган электрод - **чўктирувчи электрод** деб аталади.

"Тожли" электрод манфий, чўктирувчи эса - мусбат кутбга уланади. Бундай ҳолатларда электродларга жуда юқори кучланиш бериш мумкин. "Тож" ҳосил бўлиши билан иккала ишорали ион ва эркин электронлар пайдо бўлади. Электр майдон кучланганлиги таъсирида ионлар "тожли" электрод томон ҳаракат қилади ва унда нейтралланади.

Манфий ион ва эркин электронлар чўктирувчи электрод томон йўналади. Йўл-йўлакай чанг ва томчилар билан тўкнашиб, уларга ўз зарядини ўтказади ва чўктирувчи электрод томон олиб кетади. Натижада чанг ёки туман заррачалари шу электродда чўкади. Газдаги чанг заррачаларининг асосий қисми манфий зарядланади, чунки мусбат ионларга қараганда ҳаракатчан манфий электрон ва ионлар чўктирувчи электродга етгунча катта масофани босиб ўтади. Шунинг учун ҳам, газдаги заррачалар билан уларнинг тўкнашиши эҳтимоли катта. Фақат "тожли" электрод атрофидаги мусбат зарядланган ионлар билан тўкнашганда, чанг ёки туман заррачаларининг кичик бир қисми "тожли" электродда чўкади. Манфий зарядланган ионлар, чанг ёки туман заррачалари чўктирувчи электродга етганда, унга ўз зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўкади. Бундай чўктириш жараёни электрофильтрада олиб борилади.

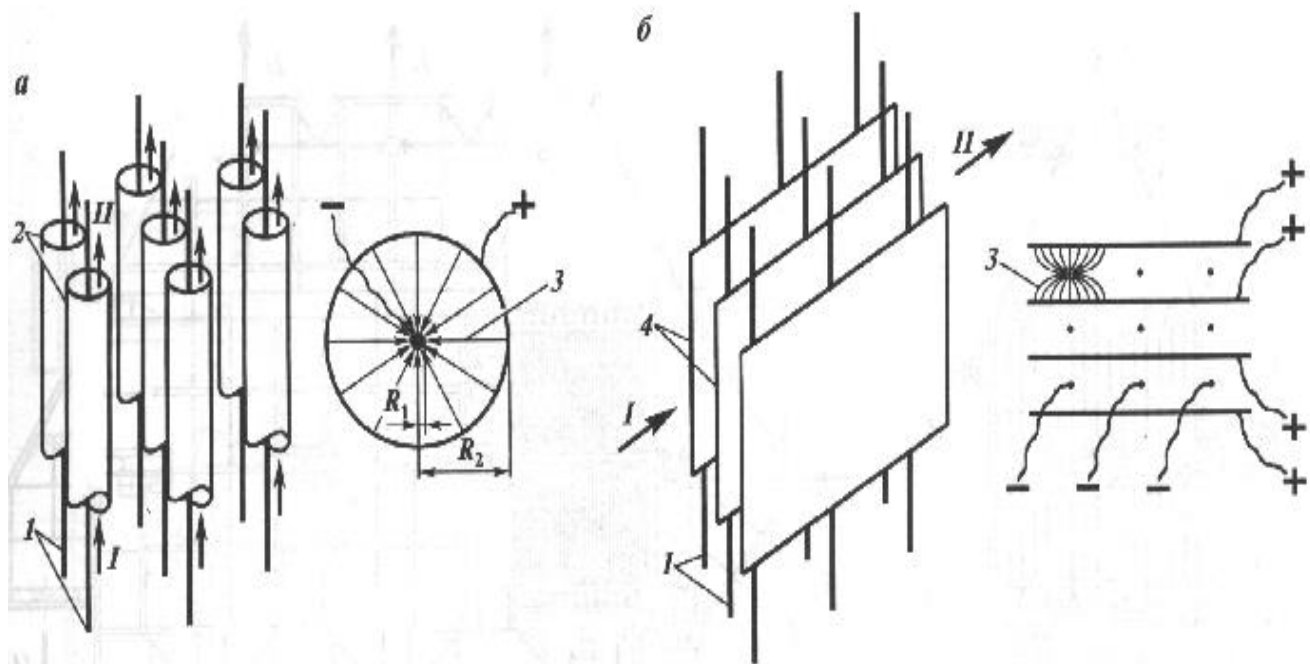
Электродларга ўтириб қолган чанг заррачаларининг зарарли таъсирини камайтириш мақсадида, вақти-вақти билан электродларга ўтириб қолган заррачалар силкитиб туширилади ёки электрофильтрага киритилишдан аввал чангли газ намланади (ўтказувчанлигини ошириш учун). Лекин, газнинг температураси шудринг нуктасидан пасайиб кетиши мумкин эмас.

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдони таъсирида тозалаш, бошқа усулларга қараганда кўпгина афзалликларга эга. Чўктириш қурилмаларида, яъни циклон, энгли фильтр, скрубберларда оғирлик ва марказдан қочма куч таъсирида майда заррачаларни ажратиб бўлмайди.

Турли жинсли газ аралашмаларини электр майдон таъсирида ажратиш электродларда амалга оширилади. Чанг ва тутунларни тозалаш учун куруқ, туманларни тозалаш учун эса - ҳўл электрофильтрлар қўлланилади.

**Одий электрофильтр** - иккита электроддан иборат бўлиб, биттаси - анод- труба ёки пластина, иккинчиси эса - катод - сим кўринишида тайёрланади. Катод - сим труба ичига ёки пластина анодлар орасига тортилади. Анодлар ҳар доим ерга уланади.

Электродлар ўзгармас ток манбасига уланганда 4...6 кВ/см га тенг потенциаллар фарқи ҳосил бўлади. Бу қиймат катоднинг 1 м узунлигида 0,05...0,5 мА ток зичлигини таъминлайди. Газли аралашма труба-электрод ичига ёки пластиналар орасига узатилади. Электродлардаги юқори потенциаллар фарқи ва электр майдонининг турли жинслилиги туфайли манфий электрод-катод атрофидаги газ қатламида анодга қараб йўналган электронлар оқими ҳосил бўлади. Натижада газ нейтрал молекулаларининг электронлар билан тўкнашуви туфайли газ ионизацияга учрайди. Ионизация ўз навбатида газни мусбат ва манфий ионлар ажралишига олиб келади. Мусбат ионлар катод, манфийлари эса катта тезликда анод томон ҳаракат қилади. Одатда, чанг ва туман заррачалари анодга чўкади ва уни чўкма қатлами билан қоплайди. Электр майдони таъсирида чўктириш тезлиги секундига бир неча



12.1 – расм. Трубали (а) ва пластинали (б) электродлар.

1-«тожли» электрод; 2-чўтирувчи трубали электрод; 3-куч йўналишлари; 4-чўтирувчи, пластинали электрод. I-чангли газ; II-тозаланган газ.

сантиметрдан бир неча ўнлаб сантиметргача ораликда бўлади. Чўктириш тезлиги заррача ўлчами ва газнинг гидравлик қаршилигига боғлиқ.

Электр майдонида заррачаларнинг чўкиш тезлигини аниқлаш учун жараён ламинар режимда амалга ошади деб қабул қиламиз.

Электр майдони зарядланган заррачага  $F = ne_0 \cdot E_x$  (бу ерда  $n$  - заррача олган заряд;  $e_0$  - элементар заряд катталиги;  $E_x$  - катод ўқидан  $x$  масофадаги электр майдон потенциали градиенти) куч билан таъсир этади.

Электр майдон таъсирида заррачанинг чўкиш тезлиги ушбу тенгламадан аниқланади:

$$w_q = \frac{ne_0 E_x}{3\pi d\mu} \quad (12.1)$$

Заррачанинг чўкиш давомийлиги:

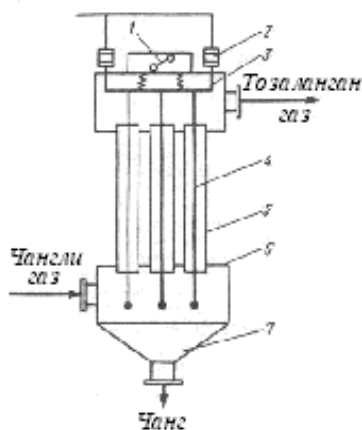
$$\tau_q = \int_r^R \frac{dx}{w_q} \quad (12.2)$$

бу ерда:  $R$  - катод ўқидан анод ўқигача бўлган масофа;  $r$  - катод радиуси.

Электр майдон потенциали градиенти  $E_x$  катодгача бўлган масофа  $x$  га боғлиқ. Шунинг учун, заррачаларнинг чўкиш вақти (12.2) тенгламани график интеграллаш усули билан аниқланади.

**Трубали электрофилтрлар.** Чанг ва тутун газлари қурилманинг пастки қисми бўлмиш электродлар маҳкамланган тешикли панжара (б) тагига узатилади ва трубали электрод (анод)лар ичига тақсимланади (12.2-расм).

Трубали электродлар ичига "тож" ҳосил қилувчи электродлар-катодлар ўрнатилган. Электродлар изоляторга таяниб турувчи умумий ромда



### 12.2-расм. Трубали электрофильтр.

- 1 - силкитувчи мослама; 2 – изолятор;  
 3 - ром; 4 - "тож" ҳосил қилувчи электрод;  
 5 – трубали электрод - анод; 6 - тешикли панжара; 7 - чанг йиғгич.

маҳкамланади. Электр майдони таъсирида газ таркибидаги заррачалар чўкади. Анодга чўкиб, қатлам ҳосил қилган заррачалар вақти-вақти билан силкитиб

турилади ва қурилманинг пастки қисмидаги конуссимон тубда йиғилади. Йиғилган чанг заррачалардан иборат чўкма пастки штуцердан тўкилади, тозаланган газ эса - фильтрнинг тепа қисмидаги штуцердан атроф муҳитга чиқариб юборилади.

Ҳозирги кунда, бир нечта кетма - кет уланган секциялардан

газ ўтадиган секцияли электрофильтрлар яратилган.

Одатда, трубалар диаметри 150...300 мм ва узунлиги 3...4 м қилиб ясалади. Трубалар ичида тортилган симлар диаметри 1,5...2,0 мм.

Газларнинг тозаланиш даражаси 99%, айрим ҳолларда 99,9% ни ташкил этади.

**Пластинали электрофильтрларда** анод вазифасини пластиналар, катодни эса - пластиналар орасига тортилган симлар бажаради. Электрофильтрларда газларни тозаланиш даражаси, чангларнинг электр ўтказувчанлигига боғлиқ.

Агар, заррачалар электр токини яхши ўтказса, унда заррачалар зарядини бир зумда беради ва электрон зарядини эгаллайди. Бунда, бир - биридан қочиш Кулон кучи ҳосил бўлиб, фильтрдан газ билан заррачалар учиб кетишга олиб келади ва тозаланиш даражасини камаяди.

Агар, заррачалар электр токини ёмон ўтказса, унда электродда манфий зарядланган заррачалардан иборат зич қатлам ҳосил бўлиб, асосий электр майдонга қарши таъсир қилади.

Газ таркибидаги заррачалар концентрацияси юқори бўлганда ҳам, газнинг тозаланиш даражаси паст бўлади. Чунки, ионларнинг заррачаларда чўкиши, олиб ўтилган зарядлар сонини камайишига сабабчи бўлади. Демак, ток кучи ҳам пасаяди.

Газ таркибидаги заррачалар концентрациясини пасайтириш учун электрофильтрдан олдин кўшимча газ фильтрлар ўрнатилади.

Пластинали электрофильтр электродларига чўкган чанглар трубали фильтрникидан осонроқ тозаланади ва сим узунлиги бирлигига камроқ энергия ишлатади. Ундан ташқари, бу фильтрлар ихчам, кам металл сарфлайди ва йиғилиши осон.

Агар, электродлар сони ва қурилманинг кўндаланг кесими маълум бўлса, электрофильтрларни ҳисоблаш унинг "тожли" электродининг узунлигини аниқлашдан иборат бўлади.

Электрофильтрдаги ток миқдори  $I = iL$  га тенг бўлиб, бу ерда  $i$  - ток

зичлиги;  $L$  - электрод узунлиги.

Куйида келтирилган тенгламадан потенциалнинг критик градиенти топилади:

$$E_k = 31 + 9,54 \sqrt{\frac{\sigma}{r}} \quad (12.3)$$

бу ерда:  $\sigma$  - босим 0,1 МПа да ушбу шароитдаги ҳаво зичлигининг 25°C температурадаги зичлигига нисбати.

Агар, электродлар орасидаги масофани билсак, электродлардаги потенциаллар фарқини топиш мумкин.

Газларни тозаланиш даражаси ушбу умумий формула ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$\eta_s = 1 - \frac{x_2}{x_1} = 1 - e^{-wf} \quad (12.4)$$

бу ерда:  $x_1$  ва  $x_2$  - электрофильтрларга кираётган ва ундан чиқаётган газларда қаттиқ заррачалар концентрацияси, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  - электрод юзасига қараб ҳаракат қилаётган зарядланган заррача тезлиги, м/с;  $f$  - солиштирма чўкиш юзаси, м<sup>2</sup>/(м<sup>3</sup>/с).

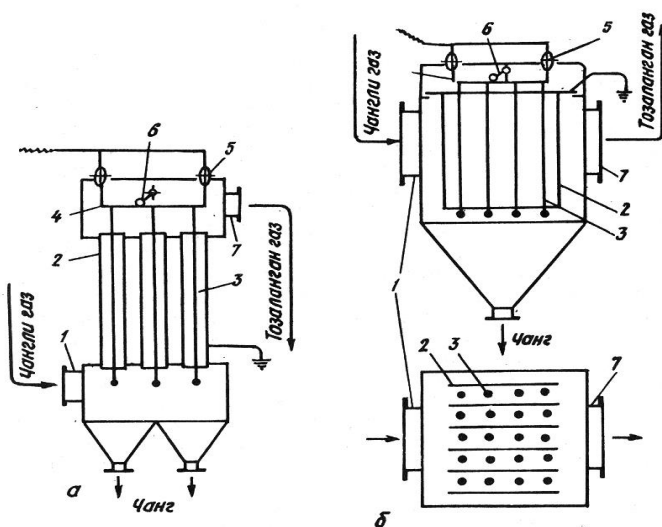
Трубали электрофильтрлар учун:

$$f = \frac{2l}{rw} \quad (12.5)$$

Пластинали электрофильтрлар учун:

$$f = \frac{l}{hw} \quad (12.6)$$

бу ерда:  $l$  - труба ёки пластина узунлиги, м;  $r$  - чўктириш электроди трубасининг радиуси, м;  $h$  - чўктирувчи ва «тожли» электродлар орасидаги масофа, м;  $w$  - электрофильтрларда газнинг тезлиги, м/с.



12.3 – расм. Электрофильтр.

**Электрофильтрлар.** Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдон таъсирида чўктириш бошқа чўктириш усуллариغا қараганда кўп афзалликларга эга (12.3 - расм).

Электрофильтрлар ёрдамида газ таркибидаги энг кичик заррачаларни ушлаш мумкин. Бундай қурилмаларда газ аралашмаларини ажратиш даражаси 99% гача етади. Электрофильтрларнинг гидравлик қаршилиги 100-150 Па гача бўлади, Чангли газнинг ҳарорати - 20 дан +500°C гача бўлиши мумкин.

Электрофилтранинг камчилиги: юқори металл ушлашлик; ўлчамлари катта; иш режимининг ўзгаришига таъсирчан; чангнинг портлаш ва ўт олиш хавфсизлигини таъминлашга юқори капитал сарфи катта бўлганда фойдаланиш мақсадга мувофиқ 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 чуғланиб нур ва чарсилланиб овоз чиқаради. Бу сим *нурланувчи электрод* дейилади.

Манфий зарядланган чангнинг электронлари нурланувчи электроддан мусбат зарядланган чўктириш электродлари томон ҳаракат қилганда ўз йўлида қаттиқ заррачаларга учрайди ва уларни зарядлайди. Зарядланган заррачалар чўктириш электродига яқинлашганда ўзининг зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади.

Электрофилтрлар юқори кучланишли *ўзгармас токда* ишлайди. Электрофилтранинг нурланувчи электродлари ток манбаининг манфий қутбига, чўктирувчи электродлари эса мусбат қутбига уланади. Чўктириш электродининг тайёрланишига қараб труба ва пластина электрофилтрлар бўлади, бироқ уларнинг ишлаш режимида принципиал фарқи йўқ. Электр чўктириш қурилмасининг ишлаш принципи чангни газларнинг хусусияти, таркиби ва ҳароратига боғлиқ. Ҳарорат ва ҳавонинг молекуляр оғирлиги ортиши билан системадан ўтаётган токнинг миқдори кўпайиб боради. Чанг заррачаларининг катталиги камайиши билан қурилманинг фойдали иш коэффициенти камаяди.

### **Газларни тозалаш жараёнини интенсивлаш**

Турли хил қурилмаларда газларни тозалаш даражасини ошириш мумкин. Бунинг учун тозалаш жараёнидан аввал газ таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами катталаштирилиши керак.

Бу мақсадга эришиш учун акустик коагуляция\* қўлланиши мумкин, яъни газ аралашмасига акустик тебранма товуш ва ультра товуш частоталарини таъсир эттириш керак. Товуш ва ультра товушларнинг кескин ўзгариши ўта майда заррачаларни интенсив тебранишига сабабчи бўлади. Натижада, заррачаларнинг ўзаро тўқнашуви ва ўлчами кескин ортади.

Газларга товуш баландлиги 145...150 дБ ва тебраниш частотаси 2...50 кГц бўлган акустик таъсир берилади.

Заррачалар ўлчамини катталаштиришнинг бошқа усуллари ҳам бор. Масалан, қаттиқ заррачаларда сув буғларини конденсациялаш. Бунинг учун, иссиқ газ оқимига ўта майда совуқ сув томчиларини пуркаш, совуқ газ оқимига совуқ сув сочиш каби йўллар билан эришиш мумкин.

### **Газ тозалаш 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 усулларида фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Газни тозалаш даражасига бўлган талаб атмосфера ҳавоси тозалигининг зарур бўлган санитария-гигиена нормалари билан технология ускуналарининг ишлаш шартлари билан боғлиқ бўлади. Газ тозалайдиган қурилмаларни ва уларнинг материалларини танлашда газ таркибида намлик ва агрессив компонентларнинг борлиги, уларнинг миқдори ва ҳарорати ҳисобга олинади.

Тозалашнинг тегишли даражаси қурилманинг турини, конструкциясини ва ўлчамини тўғри танлаш ва уни тўғри ишлатиш орқали эришилади. Чанг ушлашни яхшилаш одатда қурилманинг ўлчамини ёки унинг энергия хажмини кўпайтиришни талаб қилади. Масалан, энгли фильтрлар, чўктириш камералари, электрофильтрлар газнинг тезлиги кам бўлганда, яъни қурилманинг ўлчами катта бўлганда анча самарали ишлайди.

Чанг ушлагичнинг тегишли турини танлашда унинг имкониятлари ҳисобга олинishi керак. Чангли камералар, циклонлар ва бошқа инерцион чанг ушлагичлар арзон ва тузилиши оддий, бироқ улар газ таркибидаги фақат катта заррачаларни ушлаши мумкин.

Энгли фильтрлар ва электрофильтрлар ёрдамида газ тозалашнинг юқори даражасига эришилади, бунда аралашма таркибидаги майда заррачалар ҳам тутиб қолинади, бироқ газни тозалашда олдин маълум ҳароратгача иситиш талаб қилинади. Катта тезлик билан ишлайдиган газ ювувчи қурилмалар ишлатилганда газ таркибидаги жуда кичик заррачаларни ушлаш имконияти пайдо бўлади, бироқ уларни ишлатиш учун кўп энергия талаб қилинади. Нам чанг ушлагичлар ишлатилганда ҳосил бўлган суспензияларни қайта ишлашга ҳамда қурилмаларни коррозиядан ҳимоя қилишга аҳамият берилади.

Зарур бўлган тозалаш даражасига кура 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 туғдирмайди.

Газларни ўта майда заррачалардан ажратишда тозалашнинг кўп босқичли тасвиридан 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.

Газ тозалаш қурилмаларини танлашда уларнинг техник – иқтисодий кўрсаткичларини инобатга олиш зарур. Асосий кўрсаткичлар қаторига қуйидагилар киради: газнинг тозаланиш даражаси; қурилманинг гидравлик қаршилиги; тозалаш учун электр энергия, буғ ва сув сарфлари; қурилма ва газнинг тозалаш нархлари. Булардан ташқари, тозалаш самарадорлигига таъсир этувчи омилларни ҳам инобатга олиш керак, яъни газнинг намлиги ва концентрацияси, температураси ва кимёвий агрессивлиги, чангнинг хоссалари (гигроскопиклиги, толалиги, ёпишқоқлиги, қуруқлиги), заррача ўлчамлари,

унинг фракция таркиби ва ҳоказо.

Қуйидаги 12-1 жадвалда газ тозалаш қурилмаларининг айрим ўртача характеристика-лари келтирилган.

Жадвалдаги маълумотлардан кўришиб турибдики, циклон ва инерцион чанг ушлагичлар газларни фақат ўлчамлари катта заррачалардан дағал ажратиш учун қўлланиши мумкин. Албатта, бу газлар қуруқ ва таркибидаги заррачалар ёпишқоқ ва толали бўлмаслиги зарур. Шу билан бирга, бу қурилмалар катта капитал ва эксплуатацион сарфлар талаб этмайди.

Шунинг учун, бу турдаги қурилмалар газсимон турли жинсли системаларни дағал, дастлабки тозалаш учун, сўнг эса электрофилтр ва энгли филтрларда тўлиқ тозалаш мақсадида ишлатилади. Ундан ташқари, бундай дағал тозалаш вентилятор парраklarини емирилишдан сақлайди.

Циклон ва батареяли циклонларни юқори концентрацияли газларни тозалаш учун, батареяли циклонларни газсимон турли жинсли системаларнинг сарфи катта бўлганда қўллаш тавсия этилади.

**12-1 жадвал**

Қурилма	Газдаги чангнинг максимал миқдори, кг/м <sup>3</sup>	Айрим заррачалар ўлчами, мкм	Тозаланиш даражаси, %	Гидравлик қаршилик, Н/м <sup>2</sup>
Чанг чўктириш камераси	чегараланмаган	> 100	30...40	-
Циклон	0,4	> 10	70...95	400...700
Батареяли циклон	0,1	> 10	85...90	500...800
Марказдан кочма скрубберлар	0,05	> 2	90...95	400...800
Энгли филтр	0,02	> 1	98...99	500...2500
Кўпикли чанг ушлагич	0,3	> 0,5	95...99	300...900
Вентури скруббери	0,05	> 1	95...99	3000...7000
Электрофилтр	0,01...0,05	> 0,005	99...99,9	100...200

Заррача ўлчамлари 1 мкм дан ортиқ, қуруқ ва қийин ҳўлланадиган чангларни майин тозалаш учун энгли филтрлардан фойдаланилади. Лекин, бу филтрларни ёпишқоқ ва нам чангларни тозалаш учун ишлатиб бўлмайди.

Майда дисперс чангли газларни тўлиқ тозалаш учун скруббер, кўпикли чанг ушлагич ва электрофилтрлар қўлланилади. Тозаланаётган газ совитилиши ва намланиши рухсат этилган, ҳамда ажратилаётган заррачалар қимматбаҳо маҳсулот бўлган ҳолларда, скруббер ва кўпикли чанг ушлагичлар қўлланиши мақсадга мувофиқдир. Бу қурилмалар содда, нархи ва эксплуатацион сарфлари электрофилтрникидан анча кам.

Лекин, ушбу усулда чангли газларни ажратиш жараёнида жуда кўп сув сарф бўлади. Шу сабабли, қурилма коррозиясининг тезлиги юқоридир. Агар, дисперс заррачалар атроф муҳитни ифлослантириш ҳавфи бўлган ҳолларда, уларни суяқ фазадан ажратиш олиш учун қўшимча қурилма талаб этилади.

Электр майдон таъсирида чангли газларни тозалаш юқори кўрсаткичларга



эришиш имконини беради. Электрофилтрларнинг гидравлик қаршилиги кичик ва энергия сарфи кам бўлади. Соатига 1000 м<sup>3</sup> газни тозалаш учун 0,2...0,3 кВт-соат электр энергия сарфланади. Ёуруқ газларни тозалаш учун кўпинча пластиналар, туман ва қийин ушланадиган чангларни тозалаш учун эса - трубаля электрофилтрлар ишлатилади. Бу турдаги қурилмалар қиммат туради ва эксплуатация қилиш анча мураккабдир. Ундан ташқари, газ таркибидаги заррачалар солиштирма электр қаршилиги кичик бўлса, электрофилтрларни қўллаш етарли самара бермайди.

Газсимон турли жинсли системаларни тозалаш қурилмаларининг таҳлили шуни кўрсатадики, улар самарадорлигининг ортиши одатда энергетик сарф ва қурилма ўлчамларининг ўсиши билан боғлиқ. Масалан, енгли ва электр филтрлар чангли газларнинг тезликлари кичик бўлганда юқори самара беради, яъни катта ўлчамли қурилмаларда жараён ташкил этилганда.

Циклонлар ва Вентури скрубберларнинг гидравлик қаршиликлари қанчалик юқори бўлса, улар чангли газларни шунчалик самарали фазаларга ажратади, яъни чангли газни узатиш учун энергия сарфи шунча кўп бўлади.

Шунинг учун, ҳар бир аниқ ҳолатда қурилмани танлаш кўпгина кўрсаткичларни ҳисобга олишни тақозо этади.

### **Назорат саволлари**

1. Газларни чанглардан тозалашдан мақсад нима?
2. Газсимон аралашмалар қандай усуллар билан ажратилади?
3. Циклоннинг ишлаш принципини тушунтиринг?
4. Уюрмали чанг ушлагичларни иш принципини тушунтиринг?
5. Ротацион чанг ушлагичларни иш принципини тушунтиринг?
6. Газ ювувчи қурилмаларнинг афзаллиги ва камчиликлари нимадан иборат?
7. Электрофилтрларнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
8. Газ тозалайдиган қурилмаларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?

## 13 - Маъруза

### Мавзу: Аралаштириш

#### Режа:

1. Умумий тушунчалар.
2. Аралаштириш жараёнларининг турлари.
3. Умумий критериял тенглама.
4. Аралаштиригичлар турлари.

*Таянч сўзлар ва иборалар: аралаштириш, механик, пневматик, аралаштиригич, парракли, пропеллерли, турбинали, катталик, кувват, тенглама.*

#### 1. Умумий тушунчалар

Кимёвий реакцияларни амалга ошириш, гомоген системалар ҳосил қилиш, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнларини тезлатиш учун суюқлик муҳитларини аралаштириш кенг қўлланилади.

Аралаштиригич, суюқлик ёки газнинг ингичка оқими таъсирида қурилма хажмидаги оқувчан муҳит заррачаларини бир-бирига нисбатан кўп маротаба силжитишга асосланган жараён *аралаштириш* дейилади.

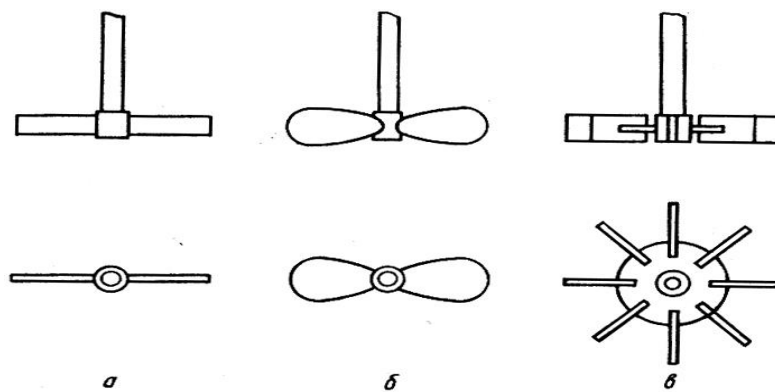
Аралаштириш қуйидаги мақсадлар учун ишлатилади: а) қаттиқ заррачаларни суюқлик хажмида бир текисда тарқатиш (суспензия ҳосил қилиш); б) суюқлик заррачаларини тегишли ўлчамларгача майдалаш ва уларни суюқлик муҳитида бир текисда тарқатиш (эмульсия ҳосил қилиш); газ заррачаларини суюқликда бир текисда тарқатиш (аэрация); г) суюқликни иситиш ёки совутиш жараёнларини тезлаштириш; д) аралашадиган системалардаги (масалан, қаттиқ материалларни суюқлик ёрдамида эритиш) модда алмашилишини тезлаштириш.

#### Аралаштириш жараёнларининг турлари

Кимё саноатида аралаштиришнинг қуйидаги усулларидан фойдаланилади: 1) механик; 2) циркуляция; 3) турбулизатор ёрдамида; 4) пневматик. Бу усулларни танлаш пайтида бир неча шарт- шароитлар ҳисобга олинади: аралаштиришнинг мақсади; жараённинг асосий ҳарактеристикалари (ҳарорат, босим); аралашадиган муҳитнинг хоссалари; қурилманинг иш унумдорлиги. Самарадорлик ва тезлик аралаштирувчи қурилмаларнинг энг муҳим ҳарактеристикалари ҳисобланади.

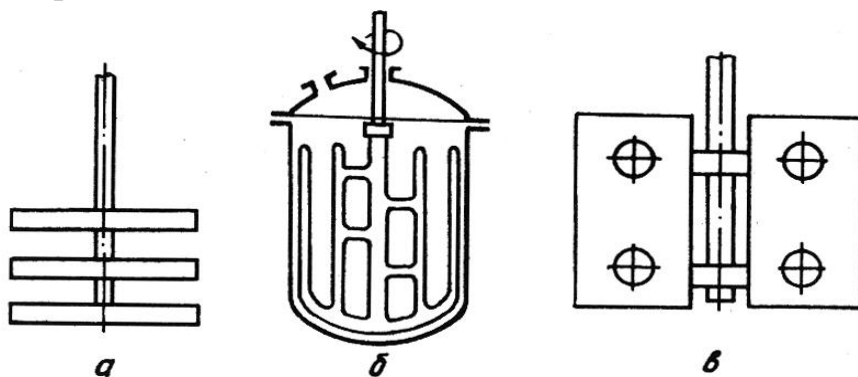
#### Механик усулда аралаштириш

Саноат ишлаб чиқаришларида ишлатилаётган аралаштиригичлар учга бўлинади: парракли, пропеллерли ва турбинали (13.1 - расм). Парракли аралаштиригичлар бир ва бир нечта парракдан иборат бўлади. Бир парракли аралаштиригичлар қовушқоқлиги ( $1\text{Н с/м}^2$ ) кичик бўлган суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Кўп парракли аралаштиригичлар қовушқоқлиги катта бўлган суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади.



13.1 – расм. а-парракли; б – пропеллерли; в – турбинали.

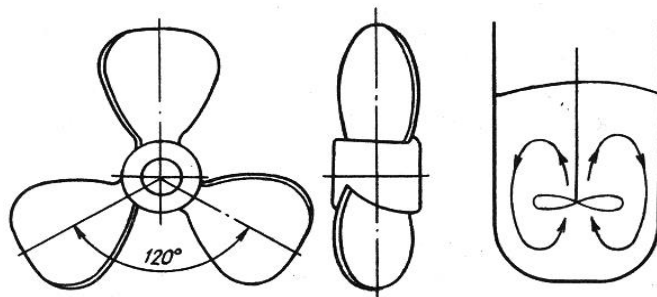
Парракли аралаштиргичларни диаметри қурилма диаметрининг 0,66 - 0,9 қисмини ташкил қилади. Айланишлар сони минутига 15 - 45 гача бўлади. Чўкма ажратувчи системаларни аралаштириш учун якорли аралаштиргичлар ишлатилади.



13.2 – расм. Парракли аралаштиргичларнинг турлари.

а) рамали; б) якорли; в) япроксимон.

Пропеллерли аралаштиргичларнинг асосий иш органи ўққа ўрнатилган пропеллер ёки винтдан иборат. Ўқ горизонтал, вертикал ёки қия ўрнатилган бўлиши мумкин. Винтлар икки ёки уч канотли бўлади. Канотлар суюқликда худди винт каби ҳаракат қилади. Битта вал ўқиға биттадан учтагача пропеллер аралаштиргичлар ўрнатилади. Пропеллери ўраб олган суюқлик эса худди гайка

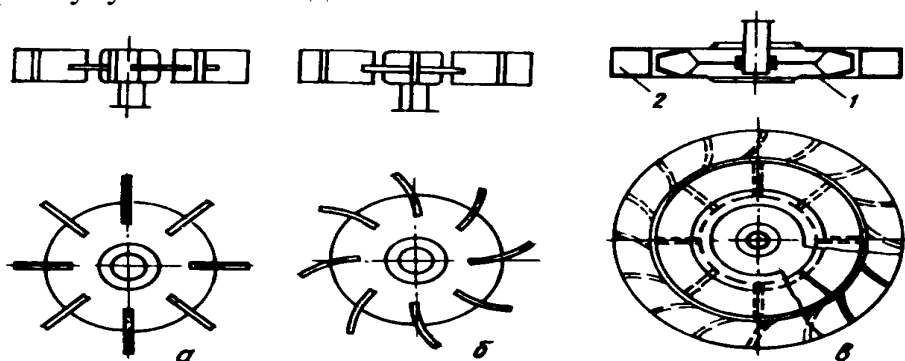


13.3 – расм. Пропеллерли аралаштиргич

каби аралаштиргичнинг ўқи йўналишида ҳаракат қилади. Пропеллер аралаштиргичлар муҳитларни яхши аралаштирганда катта тезликда айланади. Пропеллернинг диаметри қурилма диаметрини 0,25 - 0,3 қисмини ташкил этади. Айланишлар сони минутига 150-1000 гача бўлади. Пропеллерли аралаштиргичларни ҳаракатчан ва қовушқоқлиги бироз катта бўлган ( $6 \text{ Н с/м}^2$ ) суюқликларин аралаштириш учун ишлатилади. Пропеллерли аралаштиргичлар парракли аралаштиргичларга қараганда самарадорлиги анча юқори, лекин уларни ишлаши учун кўп энергия сарфланади.

Турбинали аралаштиргичларнинг асосий иш органи турбина ғилдираги бўлиб, у вертикал ўққа жойлаштирилган бўлади.

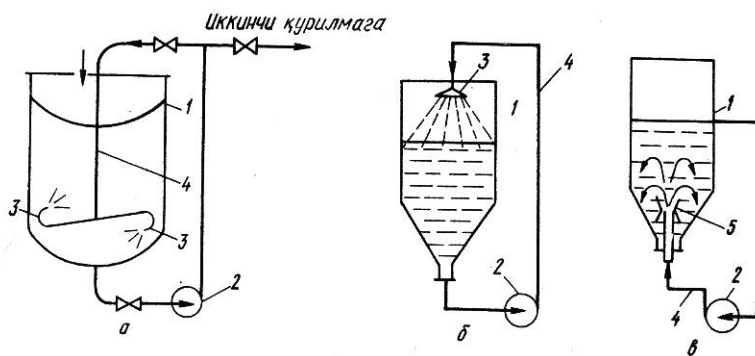
Ғилдирак минутига 200 - 2000 гача айланма ҳаракат қилади. Турбина ғилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучларнинг таъсирига асосланган. Суюқлик аралаштиргичнинг марказий тешикларида кириб, у ерда марказдан қочма кучлар таъсирида тезланиш олган ҳолда ғилдиракдан радиал йўналишда чиқиб кетади. Ғилдиракда суюқлик вертикал йўналишдан горизонтал йўналишга ўтиб, ундан катта тезлик билан чиқади. Бу аралаштиргичларни самарадорлиги жуда юқори. Турбинали аралаштиргичларнинг диаметри қурилма диаметрининг 0,17-0,33 қисмини ташкил қилади. Бу аралаштиргичлар ( $1-700 \text{ Н с/м}^2$ ) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади.



13.4 - расм. Турбинали аралаштиргич турлари:

а) очик тўғри курракчали; б) очик қия курракчали; в) ёпиқ турбинали;  
1 - турбина; 2 – йўналтиргич.

**Циркуляцион аралаштириш.** Суюқлик муҳитини тезда аралаштириш учун циркуляцион насосдан фойдаланилади. Суюқлик ҳайдаладиган трубопроводлар



13.5 – расм. Циркуляцион аралаштиришнинг чизмаси.

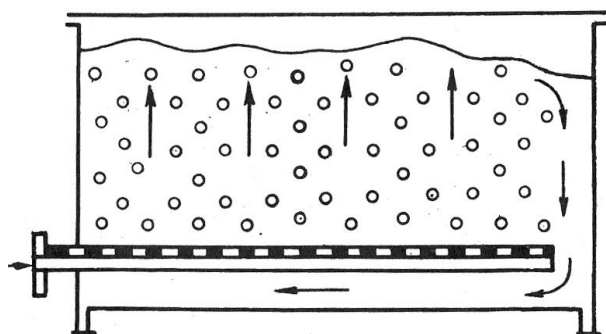
горизонтал юзига нисбатан бир оз қия қилиб, қурилма деворига уринма ҳолатида бирлаштирилади. Трубопроводларнинг учлари махсус насадкалар билан таъминланган бўлади. Насадка ёрдамида суюқлик қурилманинг хажми бўйича сочиб берилади. Циркуляцион насос сифатида марказдан қочма ва ингичка оқимли насослар ишлатилади. Насоснинг иш унумдорлиги кўпайган сари циркуляциянинг самарадорлиги ортади.

**Турбулизаторлар ёрдамида аралаштириш.** Суюқликни оқим бўйлаб кўп маротаба аралаштириш учун трубопроводларга ёки уларга жойлаштирилган аралаштиригичларга махсус турбулизаторлар ўрнатилади. Турбулизаторлар (бошқача қилиб айтганда статик аралаштиригичлар) қаторига диафрагма оқим, кесувчи яримта тўсиқ ва винтлар киради. 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 қовушқоқлиги 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.

### Пневматик аралаштириш

Қовушқоқлиги унча юқори бўлмаган ( $200 \text{ Н с/м}^2$ ) суюқликларни аралаштириш ҳамда донасимон материалларни сувда ювиш учун пневматик аралаштиригичлар ишлатилади. Айрим шароитларди пневматик аралаштириш учун ҳаво ўрнига сув буғи ишлатилади, бунда аралаштиришдан ташқари суюқликни исиши ҳам юз беради. Пневматик аралаштириш учун газ ёки буғ суюқлик таркибига соплодаги тешиклар орқали ўтади. Бунда газ (ёки буғ)нинг ингичка оқимлари пуфакчаларга ажралиб, суюқлик массаси бўйлаб юқорига

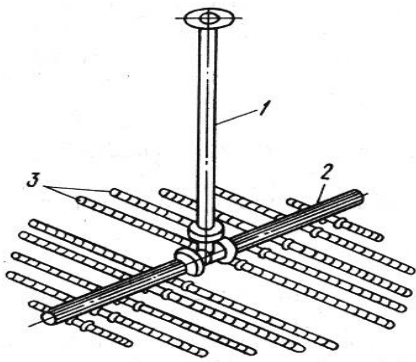


13.6 –расм. Пневматик аралаштиригич.

кўтарилади (13.6 – расм). Бундай шароитда ҳосил бўлган пуфакчалар ўзи билан бирга суюқликнинг заррачаларини эргаштириб кетади, бундан ташқари пуфакчаларнинг ҳаракатига қарама-қарши, суюқликнинг барботаж қилинмаган қисмининг ҳаракати бошланади. Натижада суюқлик муҳитида аралаштириш юз беради.

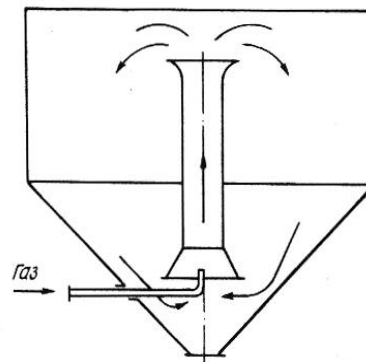
Енгил учувчан суюқликларни пневматик усул билан аралаштириш мумкин эмас, чунки бунда аралаштирилаётган суюқлик ҳаво билан бирга чиқиб кетиши мумкин. Аралаштириш учун турли тузилишли барботёр ишлатилади. Агар аралаштириш пайтида газ билан суюқликнинг зич тўқнашуви зарур бўлса,

у ҳолда 13.7 – расмда кўрсатилган барботёр қўлланилади. Барботёрдаги газнинг



13.7 – расм. Барботернинг тузилиши.

- 1- вертикал ҳаво узатувчи қурилма;
- 2- горизонтал ҳаво узатувчи қурилма;
- 3 – ҳавони тарқатувчи қурилма.



3.8 – расм. Эрлифтдан фойдаланилган аралаштиргич.

тезлиги 0,1 м/с гача етиши мумкин, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса 0,25 – 0,4 м/с ни ташкил қилади. Бундай аралаштириш жараёни секин боради ва жуда кўп энергия сарф бўлади. Бундан ташқари, ҳаво ёрдамида аралаштиришда кераксиз жараёнлар: оксидланиш ёки маҳсулотнинг буғланиши юз бериши мумкин.

Сочилувчан моддаларни сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштириш учун эрлифт принциpidан фойдаланилади. Ҳаво компрессор ёрдамида марказий трубага юборилади. Бундай шароитда марказий труба ичида газ, суюқлик ва қаттиқ жисмнинг аралашмаси пайдо бўлади. Марказий трубадаги аралашманинг зичлиги қурилманинг бошқа қисмида жойлашган аралашма зичлигидан кам бўлади. Ушбу зичликлар айирмаси ўртасидаги фарқ натижасида бутун массанинг циркуляцион ҳаракати пайдо бўлади. Эрлифтдаги газнинг келтирилган тезлиги 2 м/с гача, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса 1 м/с га ча етади.

Айниқса газни суюқлик билан кимёвий реакцияга кириши зарур бўлганда пневматик усулни қўллаш мақсадга мувофиқ. Бундай аралаштириш *аэрация* дейилади. Аэрацион қурилмаларнинг самарадорлиги суюқлик муҳитнинг аралаштиришдан ташқари кислороди билан тўйиниш даражаси орқали ҳам характерланади.

Ҳар қандай аралаштириш жараёнида 2 хил катталиқ (энергия сарфи ва аралаштириш самарадорлиги) билан характерланади. 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 алмашилини тезлатиш учун ишлатилса, у ҳолда жараён самарадорлиги муҳитдаги иссиқлик бериш коэффициентларининг қанчага кўпайиши билан белгиланади.

### Умумий критериял тенглама

Пневматик аралаштирувчи қурилмаларни ҳисоблаш тегишли босимни, сиқилган ҳаво сарфини ва аралаштирувчи қурилмага сарф бўладиган қувватни аниқлашдан иборат.

Аралаштириш учун зарур бўлган сиқилган ҳаво босими қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$P = 1,2 H \rho_c g + P_0$$

бу ерда  $H$  - аралашаётган суюқлик устунининг баландлиги, м;  $\rho_c$  – аралашаётган суюқликнинг зичлиги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $P_0$  – суюқлик устунидagi босим, Па.

Ҳаво йўлидаги босимнинг йўқолишини суюқлик устуни қаршилигининг 20 фоизига тенг деб олинган.

Қурилмадаги суюқликнинг  $1 \text{ м}^2$  эркин юзасига тўғри келган ҳаво сарфини қуйидагича қабўл қилинади: секин аралаштиришда -  $0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$  мин. Тез аралаштиришда -  $1 \text{ м}^3/\text{м}^2$  мин. Барботёр тешикларидан чиқаётган газнинг тезлиги 20 – 40 м/с ни ташкил қилади.

Аралаштирувчи қурилмага сарф бўладиган қувват қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$N = R_n R_{uk} K_N \rho n^3 d$$

бу ерда  $R_n = \left( \frac{H_c}{D} \right)^{0,5}$

$D$  - қурилма диаметри;  $R_n$  - суюқлик баландлигининг қурилма диаметрига нисбатини ҳисобга олувчи коэффициент;  $H_c$  - қурилмадаги суюқлик баландлиги;  $R_{uk}$  - ички қурилмалар борлигини ҳисобга олувчи коэффициент;  $\rho$  - суюқлик ёки аралашманинг зичлиги;  $n$  – аралаштирувчи қурилманинг айланишлар сони;  $d$  – аралаштирувчи қурилма диаметри;  $K_N$  - қувват мезони.

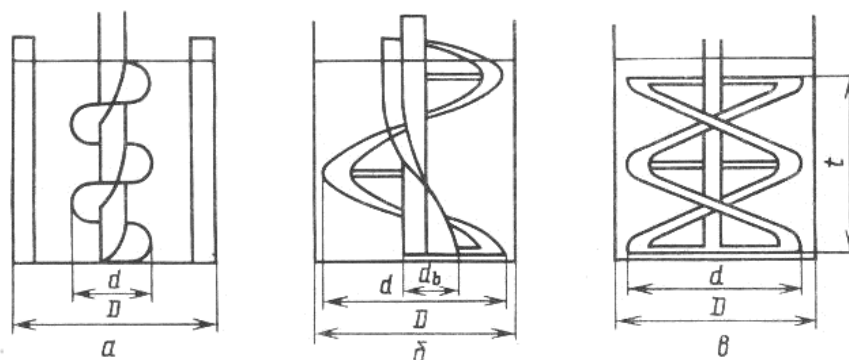
Қувват мезони графиклар ёрдамида аралаштиргичларнинг геометрик ўлчамларига ва ҳаракат режимига қараб аниқланади.

Ҳозиргача аралаштириш самарадорлигини аниқлашга ёрдам берадиган маълумотлар етарли даражада эмас, чунки суюқлик муҳитларида аралаштириш жуда кўп параметрларга боғлиқ бўлган жараён ҳисобланади.

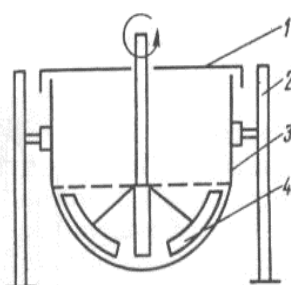
### Аралаштиргичлар турлари

Кимё саноатида пластик массаларни аралаштиришда, озиқ-овқат саноатида нон ёпиш, макарон ва қандолат маҳсулотларини ишлаб чиқаришда қўлланилади. Бу жараёнда на фақат турли компонентлар қориштирилади, балки, хамир эзиб қориштирилади, ҳаво билан тўйинтирилади ва маълум бир хоссаларга эга бўлади.

Аралаштириш жараёни даврий ва узлуксиз қориштиргичларда олиб борилиши мумкин. Бу турдаги қурилмалар ичида ромли, шнекли ёки лентали аралаштиргичлар вертикал ёки горизонтал ўқда ўрнатилади (13.9-расм).



13.9-расм. Шнекли (а) ва лентали (б, в) аралаштиргичлар



13.10-расм. Хамир тайёрлаш қурилмаси.

1 - қопқоқ; 2 - таянч; 3 - қобик;  
4 - қориштириш мосламаси.

Кам ва юқори қовушоқли қандолат маҳсулотларни (вафли, бисквит ва бошқа хамирлар) ҳамда қандолат массаларини сочилувчан компонентлар (кекс хамирларини майиз, оқсил массасини ёнғоқ) билан қориштириш учун иккита спиралсимон ишчи органли тоғарасимон шаклли аралаштиргичлар қўлланилади.

Аралаштириш жараёни юпқа қатламда олиб борилгани сабабли, юқори даражада интенсивлашга эришиш мумкин.

Қурилма туби шаклида ясалган,  $90^\circ$  бурчак остида ўрнатилган 4 парракли қориштириш мосламали аралаштиргичда ширинликлар хаамири тайёрланади (13.10-расм).

Аралаштиргичнинг айланиш частотаси  $12 \text{ мин}^{-1}$ . Қориштириш жараёни тугагандан сўнг, қобик 3 ағдарилади, яъни қопқоқ 1 очилади ва хамир тўкилади.

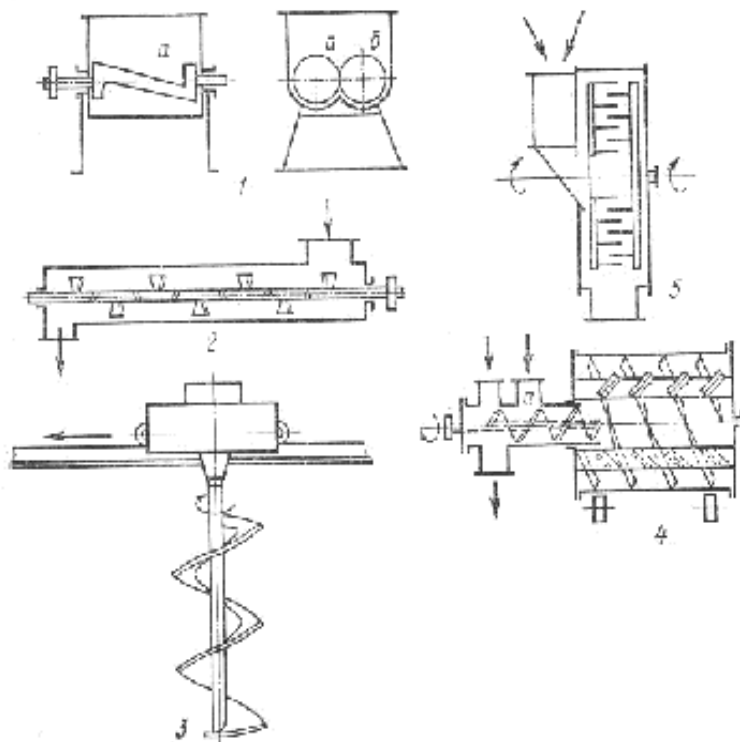
### Сочилувчан материалларни аралаштириш

Одатда сочилувчан материалларни аралаштириш учун мўлжалланган қурилмалар ишлаш принципи, тезлик характеристикалари ва конструктив белгиларига қараб гуруҳларга ажратилади.

Ишлаш принципига қараб даврий ва узлуксиз ишлайдиган аралаштириш қурилмалари бўлади. Даврий ишлайдиган қурилмаларга барабанли, лентали, марказдан қочма, айланувчи роторли, червяк - парракли ва мавҳум қайнаш қатламли аралаштиргичлар киради. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларга эса - барабанли, червяк - парракли, роторли ва бошқа турдаги аралаштиргичлар киради.



Тезлик характерискаларига қараб тез ва секин юрар қурилмалар бўлади. Тез юрар аралаштиргичлар бир ва икки поғонали бўлиши мумкин. Биринчи поғона иситиладиган, иккинчиси эса - совутиладиган бўлиши мумкин.



13.11-расм. Сочилувчан материаллар аралаштиргичларининг асосий турлари.  
а - парракли; б, в - шнекли; г - барабанли; д - зарбали.

13.11-расмда аралаштиргичларнинг асосий турлари келтирилган.

Парракли аралаштиргич қарама - қарши йўналишда айланадиган  $z$  - симон  $m$  ва  $n$  парраклардан таркиб топган.

Қурилмага узатилган материал парракларнинг жадал таъсирида самарали қориштирилади. Шнекли қурилмаларда бир вақтнинг ўзида материаллар ҳам қориштирилади, ҳам маълум масофага узатилади (13.11 б-расм).

13.11 в-расм шнекли аралаштиргичнинг яна бир тури келтирилган бўлиб, унда бир қатор вертикал шнеklar ҳаракатчан ромларга ўрнатилган бўлади. Бундай қурилмаларда айлантирувчи шнек ромлар аралаштириладиган материал билан бирга силжийди.

Барабанли қурилмаларда аралаштириш жараёни барабанда амалга оширилади (13.11 г-расм).

Зарбали қурилмаларда жараённинг интенсивлиги аралаштириладиган материалга билаларнинг кўпдан – кўп уриниши натижасида ҳосил бўлади (13.11 д-расм).

Икки поғонали аралаштиргичлар кукунсимон, қовушоқ ва суюқ материалларни қориштириш учун қўлланилади. Қурилманинг биринчи поғонаси аралашмани гомогенлаш учун, иккинчиси эса - уни совитиш учун хизмат қилади. Қориштиргич ичида уч парракли аралаштиргич ва пичоқлар комбинациясидан таркиб топган тез юрар ротор айланади.

Ротор айланиши пайтида сочилувчан материал қурилма деворига улоқтирилади ва юқорига қараб кўтарилади. Натижада заррачаларнинг циркуляцияли ҳаракат оқими барпо бўлади. Қурилма девори бўйлаб ҳосил бўлган кўтарилувчи оқим нам материални деворга ёпишишига ҳалақит беради. Қориштиргич конструкцияси ротор паррақларини ўзини - ўзи тозалашини таъминлайди.

Сочилувчан ва нам материалларни аралаштириш учун мўлжалланган секин юрар қориштиргичлар цилиндр ёки тоғорасимон шаклли бўлиб, ён ва тепа қопқоқлар билан беркитилади.

Қориштиргич қобиғи ичида ясси лентали спиралсимон паррақли ўқ жойлаштирилади. Материални интенсив аралаштириш учун паррақлар чап ва ўнг томонга қараб ўралади. Лентали қурилмаларда қориштириш элементи 4 та лентадан таркиб топган бўлади. Ташқи лентанинг айланма тезлиги 1,2 м/с га тенгдир.

### **Назорат саволлари**

1. Аралаштириш қандай мақсадлар учун ишлатилади?
2. Аралаштириш неча хил усулда олиб борилади?
3. Аралаштиргични қандай турларини биласиз?
4. Сарф бўладиган кувват қайси тенгламадан топилади?
5. Циркуляцион аралаштириш қурилмасини тушунтиринг. Аралаштириш деб нимага айтилади?
6. Аралаштириш даврида чегара қатламининг калинлиги қандай ҳолатда бўлади.
7. Ноньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун қандай аралаштиргичлардан фойдаланилади?
8. Аралаштириш пайтидаги суюқлик ҳаракатини таркиби қандай тузилган?
9. Механик аралаштириш учун энергия сарфининг умумий критериял тенгламасини қандай келтириб чиқариш мумкин?

## 14 - Маъруза

### Мавзу: Иссиқлик ўтказиш асослари

#### Режа:

1. Иссиқлик тарқалиш турлари.
2. Иссиқлик ўтказувчанлик.
3. Иссиқлик нурланиши.
4. Иссиқлик бериш коэффициенти.

**Таянч сўзлар ва иборалар:** *иссиқ, совуқ, иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция, майдон, қонун, иссиқлик алмашиниши, дифференциал тенглама, критериал тенглама. конвектив, турбулент, ўтиш, иссиқлик ўтказиш, агрегат, конденсация, суюқликни қайнаши, иссиқликни ўтиши, термик, куч, ҳарорати, интенсификация.*

#### Иссиқлик тарқалиш турлари

Ҳар хил ҳароратга эга бўлган жисмларда иссиқлик энергиясининг биридан иккинчисига ўтиши **иссиқлик алмашиниши жараёни** деб аталади. “Иссиқ” ва “совуқ” жисмларнинг ҳарорати ўртасидаги фарқ иссиқлик алмашинишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади. Ҳароратлар фарқи бўлганда термодинамиканинг иккинчи қонунига кўра иссиқлик энергияси ҳарорати юқори бўлган жисмдан ҳарорати паст бўлган жисмга ўз-ўзидан ўтади. Жисмлар ўртасидаги иссиқлик алмашиниши ҳисобига содир бўлади. Иссиқлик алмашинишида катнашадиган жисмлар иссиқлик ташувчилар деб аталади. Иссиқлик ўтказиш жараёнлари (иситиш, совитиш, буғларни конденсациялаш, буғлатиш) кимё саноатида кенг тарқалган. Иссиқлик тарқалишининг учта принципиал тури бор: *иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва иссиқликнинг нурланиши.*

Бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг ҳаракати натижасида юз берадиган иссиқликнинг ўтиши **иссиқлик ўтказувчанлик** (ёки кондукция) дейилади. Газ ва томчили суюқликларда молекулаларнинг ҳаракати натижасида ёки каттиқ жисмларда кристалл панжарадаги атомларнинг тебраниши таъсирида ёхуд металлларда эркин электронларнинг диффузияси оқибатида иссиқлик ўтказувчанлик жараёни содир бўлади. Каттиқ жисмларда ва газ ёки суюқликларнинг суюқликларнинг қатламларида иссиқлик асосан иссиқлик ўтказувчанлик орқали тарқалади.

Газ ёки суюқликларда макроскопик ҳажмларнинг ҳаракати ва уларни аралаштириш натижасида юз берадиган иссиқликнинг тарқалиши **конвекция** деб аталади. Конвекция икки хил (эркин ва мажбурий) бўлади. Газ ёки суюқлик айрим қисмларидаги зичликнинг фарқи натижасида ҳосил бўладиган иссиқликнинг алмашиниши **табиий** ёки **эркин конвекция** дейилади. Ташқи кучлар таъсирида (масалан, суюқликларни насослар ёрдамида ўзатиш ёки уларни механик алмаштиргичлар билан аралаштириш пайтида) мажбурий конвекция пайдо бўлади.

Иссиқлик энергиясининг электр магнит тўлқин ёрдамида тарқалиши *иссиқликнинг нурланиши* деб юритилади. Ҳар қандай жисм ўзидан энергияни нурлатиш қобилиятига эга. Нурланган энергия бошқа жисмга ютилади ва қайтадан иссиқликка айланади. Натижада нур билан иссиқлик алмашилиш жараёни содир бўлиб, у ўз навбатида нур чиқариш ва нур ютиш жараёнларидан ташкил топади.

Ҳақиқий шароитларда иссиқлик алмашилиш алоҳида олинган бирор усул билан эмас, балки бир неча усуллар ёрдамида юзага келади, яъни мураккаб иссиқлик ўтказиш жараёнлари амалга оширилади.

Қурилмаларнинг ишлаш режимига кўра жараёнлар икки хил (турғун ва нотурғун) бўлади. Ўзликсиз ишлайдиган қурилмаларнинг турли нуқталаридаги ҳарорат вақт давомида ўзгармайди, бундай қурилмаларда кетаётган жараён турғун бўлади. Нотурғун жараёнларда (даврий ишлайдиган иссиқлик алмашилиш қурилмаларида) ҳарорат вақт давомида ўзгариб туради (масалан, иситиш ёки совитиш пайтида).

### Иссиқлик ўтказувчанлик

Иссиқлик ўтказувчанликнинг механизми жисмларнинг агрегат ҳолатига боғлиқ бўлади. Сувоқликлар ва каттиқ жисмлар – диэлектрикларда иссиқлик ўтказувчанлик ёнма-ён жойлашган заррачалар атом ва молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати таъсирида энергия алмашилишига асосланган. Металларда иссиқликнинг алмашилиши асосан эркин электронларнинг молекула ва атомларнинг ўзаро тўқнашуви ва уларнинг диффузияси таъсирида юз беради.

**Ҳарорат майдони ва градиенти.** Жисмнинг ҳамма нуқталаридаги ҳарорат қийматларининг йиғиндиси ҳарорат майдонини ташкил этади. Ҳарорат майдони турғун ва нотурғун бўлиши мумкин. Агар ҳар бир нуқтадаги ҳарорат вақт давомида ўзгармаса, бундай ҳарорат майдони турғун бўлади. Мабодо ҳарорат вақт ўтиши билан ўзгарса, ундай майдон нотурғун ҳарорат майдони деб юритилади.

Ҳарорат майдони умумий ҳолатда қуйидаги функционал боғлиқлик билан ифодаланади:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (12.1)$$

бу ерда  $t$  – текшириляётган нуқтадаги ҳарорат;  $x, y, z$  - текшириляётган нуқтанинг координаталари;  $\tau$  - вақт.

Координаталарнинг сонига кўра, ҳарорат майдони бир ўлчамли изотермик юза деб юритилади. Ҳарорат бир изотермик юзадан иккинчи изотермик юза йўналшига қараб ўзгаради. Ҳароратларнинг энг кўп ўзгариши изотермик юзаларга ўтказилган нормал чизиклар бўйича юз беради. Ҳароратлар фарқи ( $\Delta t$ ) нинг изотермик юзалар оралиғидаги нормал бўйича олинган масофа ( $\Delta n$ ) га нисбати ҳарорат градиенти ( $\text{grad } t$ ) деб аталади.

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn}. \quad (12.2)$$

Ҳарорат градиенти нолга тенг бўлмаган тақдирда ( $\text{grad } t \neq 0$ ) иссиқлик оқими юзага келади. Бунда иссиқлик оқимининг йўналиши ҳарорат градиенти чизиги бўйича боради, аммо ҳарорат градиентига қарама-қарши йўналган бўлади:

$$q \rightarrow \left( - \frac{\partial t}{\partial n} \right)$$

**Фурье қонуни.** Бу қонунга кўра, иссиқлик ўтказувчанлик орқали иссиқлик миқдори  $dQ$  ҳарорат градиентига  $\left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)$ , вақтга ( $d\tau$ ) ва иссиқлик оқими йўналишига перпендикуляр бўлган майдон кесими ( $dF$ ) пропорционалдир, яъни:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau. \quad (12.3)$$

Агар  $\frac{Q}{F\tau} = q$  деб олинса, у ҳолда:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (12.4)$$

бу ерда:  $q$  – иссиқлик оқими зичлиги;  $\lambda$  - иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини қуйидагича ўлчов бирлигига эга:

$$[\lambda] = \left[ \frac{dQ \partial Q}{\partial t \cdot dF \cdot d\tau} \right] = \left[ \frac{\text{Ж} \cdot \text{м}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right].$$

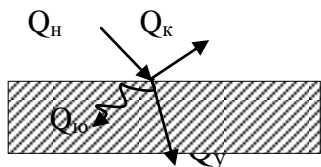
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини иссиқлик алмашиниш юзаси бирлигидан ( $1\text{м}^2$ ) вақт бирлиги давомида ( $\tau$ ) изотермик юзага нормал бўлган,  $1\text{м}$  узунликка тўғри келган ҳароратларнинг бир градусга пасайиши вақтида иссиқлик ўтказувчанлик йули билан берилган иссиқлик миқдорини белгилайди.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати модданинг тузилиши ва унинг физик-кимёвий хоссаларига, ҳарорат ва бошқа бир қатор катталикларга боғлиқ. Оддий (нормал) ҳарорат ва босимда металллар иссиқликни яхши, газлар эса ёмон ўтказади. Масалан, айрим моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини қуйидаги қийматга эга: мис учун  $\lambda=384$  Вт/(м·К); пўлат учун  $\lambda = 46,5$  Вт/(м·К); бетон  $\lambda=1,28$  Вт/(м·К); томчили суюқликлар  $\lambda=0,1\div 0,7$  Вт/(м·К); газлар  $\lambda=0,006\div 0,6$  Вт/(м·К); ҳаво  $\lambda=0,027$ Вт/(м·К).

### Иссиқликнинг нурланиши

Ҳарорати  $0^\circ\text{С}$ дан юқори бўлган барча жисмларда иссиқлик энергиясини нур энергиясига айланиши кузатилади. Бу жараён иссиқликнинг нурланиши дейилади. Ушбу жараёнда иссиқлик турли узунликдаги электромагнит тўлқинлар воситасида узатилади. Электромагнит тўлқинлар бошқа бир жисмда ютилганда қайтадан молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергиясига айланади.

Иссиқликнинг нурланиш интенсивлиги жисм ҳароратини ортиши билан ошиб боради. Юқори ҳароратларда, масалан,  $t \geq 600^\circ\text{C}$  бўлганда, қаттиқ жисм ва газлар ўртасида иссиқликнинг нурланиш йўли билан тарқалиши алоҳида аҳамиятга эга бўлади. Ёруғлик ва иссиқлик нурлари бир хил табиатга эга бўлганликлари сабабли улар умумий қонуниятлар (нурни қайтиши, синиши ва ютилиши) билан тавсифланади. Ёруғлик нурларининг тўлқин узунлиги  $0.4 \div 0.8$  мкм бўлса, иссиқликнинг нурланиш тўлқин узунлиги  $0.8 \div 800$  мкм бўлиб, спектрни кўзга кўринмас қисмини (инфрақизил нурлар) эгаллайди.



**12.1- расм. Нурланиш энергияси балансига оид схема.**

Қиздирилган жисмдан чиқарилаётган нур оқими  $Q_n$  узидан нур чиқарувчи бошқа бир жисм юзасига туширилса, ушбу нурнинг бир қисми  $Q_k$  жисм юзасидан қайтади, бир қисми  $Q_ю$  ютилади ва яна бир қисми  $Q_y$  ундан ўтиб кетади (12.1-расм).

Жисмга тушириладиган нур энергияси  $Q_n$ , жисмга ютилган нур энергиясини  $Q_ю$ , жисм юзасидан қайтган нур энергиясини  $Q_k$  ва жисмдан ўзгаришларсиз ўтиб кетувчи нур энергиясини эса  $Q_y$  деб белгилаймиз. Ушбу жараённинг энергетик баланси, умумий ҳолда, қуйидагича ёзилади

$$Q_n = Q_ю + Q_k + Q_y . \quad (12.5)$$

Ёки умумий нурланиш энергиясига  $Q_n$  нисбатан, улушларда

$$Q_ю/Q_n + Q_k/Q_n + Q_y/Q_n = 1. \quad (12.6)$$

(12.6) тенгламанинг таркибий қўшилувчиларини қуйидагича таҳлил қилиш мумкин.

$Q_ю/Q_n$ - жисмнинг нурланган иссиқлик энергиясини ютиш қобилиятини тавсифлайди. Агар  $Q_ю/Q_n=1$  ( $Q_k/Q_n=0$ ,  $Q_y/Q_n=0$ ) бўлса, жисмга тушаётган нур унда тўла ютилади. Бундай жисм абсолют қора жисм дейилади.

$Q_k/Q_n$ - нисбат жисмнинг ўзига тушириладиган нурни қайтариш хусусиятини ифодалайди. Агар  $Q_k/Q_n=1$  ( $Q_ю/Q_n=0$ ,  $Q_y/Q_n=0$ ) бўлса, жисмга тушаётган нур унинг юзасидан тўлиқ қайтарилади. Бундай жисм абсолют оқ жисм дейилади.

$Q_y/Q_n$ - нисбат қиймати жисмнинг ўзидан нурни ўтказиб юбориш хусусиятини кўрсатади.  $Q_y/Q_n=1$  ( $Q_ю/Q_n=0$ ,  $Q_k/Q_n=0$ ) бўлса, жисм юзасига тушаётган нурнинг ҳаммаси ундан тўла ўтиб кетади. Бундай жисм абсолют шаффоф бўлади.

Табиатда абсолют қора, абсолют оқ ва абсолют шаффоф жисмлар мавжуд эмас. Аммо бу атамалар нурланиш назариясини ишлаб чиқишда алоҳида аҳамиятга эга бўлди. Ушбу атамалар муҳандислик ҳисобларида ва иссиқликнинг нурланиши йўли билан иссиқлик узатиш жараёнларини таҳлил этишда кенг қўлланилади.

Техникада кулранг жисмлар тушунчасидан фойдаланилади. Бундай жисмларга туширилган нурнинг бир қисми ютилади, бир қисми қайтарилади ва унинг қолган қисмини эса жисм ўзидан ўтказиб юборади.

Иссиқликнинг нурланишини тавсифлаш учун жисмни нур чиқариш қобилияти (хусусияти) тушунчаси ишлатилади.

Жисмнинг юза ( $F$ ) бирлигидан вақт  $\tau$  бирлиги давомида тўлқин узунлигининг барча интервали ( $0 < \lambda < \infty$ ) бўйича нурланган энергияни тўла миқдори  $Q$  унинг нур чиқариш хусусиятини ( $E, \text{Вт/м}^2$ ) кўрсатади

$$E = Q/(F\tau). \quad (12.7)$$

Нурланиш энергияси тўлқин узунлиги ва жисм ҳароратидан боғлиқ бўлади.

Жисмнинг нур чиқариш хусусиятини тўлқин узунлиги  $\lambda$  интервалига нисбати нурланиш интенсивлиги  $J$  ( $\text{Вт/м}^3$ ) дейилади:

$$J = dE/d\lambda. \quad (12.8)$$

Ушбу тенгламани интеграллаш натижасида  $E$  ва  $\lambda$  ўртасидаги боғлиқлик аниқланади:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J d\lambda. \quad (12.9)$$

Иссиқликнинг нурланиш қонуниятлари Стефан-Больцман, Кирхгоф ва Ламберт қонунлари билан таърифланади.

Стефан-Больцман қонунига биноан абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобилияти  $E$  ва жисм юзасининг абсолют ҳарорати  $T$  ўртасидаги боғлиқлик қуйидагича ифодаланади:

$$E = K_0 T^4, \quad (12.10)$$

бу ерда  $K_0 = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$  - абсолют қора жисмнинг нур чиқариш доимийси.

Амалиётда кулранг жисмларнинг нур чиқариш қобилиятини ҳисоблаш учун ушбу (12.10) тенгламани қуйидаги кўринишда қўллаш қулай

$$E = \varepsilon C_0 (T/100)^4, \quad (12.11)$$

бу ерда  $C_0 = 5.67 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$  - абсолют қора жисмнинг нур чиқариш коэффициентини;  $\varepsilon$  - кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициентини ёки кулранг жисмнинг қоралик даражаси,  $\varepsilon = 0 \div 1$ .

Кирхгоф қонуни кулранг жисмнинг нур чиқариш ва нурни ютиш хусусиятлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

$$A = Q_{\text{ю}}/Q_{\text{н}}, \quad (12.12)$$

бу ерда  $A$  - кулранг жисмнинг нур ютиш хусусияти.

Кирхгоф томонидан

$$E_{\text{к}} = AE = \varepsilon E \quad (12.13)$$

эканлиги аниқланган. Бу ерда  $E_{\text{к}}$  - кулранг жисмнинг нур чиқариш хусусияти,  $\text{Вт/м}^2 \text{ К}$ .

Кирхгоф қонунига биноан муайян ҳароратлардаги барча жисмлар учун нур чиқариш ва нурни ютиш хусусиятларининг нисбати доимий қийматдир. Ушбу нисбат қиймати абсолют қора жисмни берилган ҳароратлардаги нур чиқариш қобилиятига  $E_0$  тенг, яъни:

$$E/A = E_1/A_1 = E_2/A_2 = \dots = E_0 = f(T). \quad (12.14)$$

(12.14) тенгламага биноан жисмни нур ютиш қобилияти қанчалик катта бўлса, унинг нурланиш хусусияти ҳам шунчалик катта бўлади. Шу сабабдан, нур энергиясини яхши қайтарувчи жисмлар кам миқдорда нур чиқаради.

Масалан, абсолют оқ жисмнинг нурланиши нулга тенг, ёки, абсолют қора жисм нурни ҳар қандай ҳароратда ҳам тўлиқ ютади ва максимал даражада нурланади.

Стефан-Больцман ва Кирхгоф қонунларига биноан, нурланиш орқали иссиқ жисмдан совуқ жисмга узатилган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади

$$Q_n = 5.67 \varepsilon_k F \tau [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4], \quad (12.15)$$

бу ерда  $T_1$  ва  $T_2$  - иссиқ ва совуқ жисмларнинг ҳароратлари, К;  $\varepsilon_k = (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2)^{-1}$  - жисмлар системасининг келтирилган нур чиқариш коэффициентлари;  $\varepsilon_1$  ва  $\varepsilon_2$  - жисмларнинг нисбий нур чиқариш коэффициентлари.

### Конвектив иссиқлик алмашиниш

Суюқлик ёки газнинг ҳаракати пайтидаги иссиқликнинг тарқалиши конвектив иссиқлик алмашинишнинг мазмунини ташкил этади. Бунда иссиқликнинг тарқалиши бир йўла конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида амалга ошади. Конвекция дейилганда суюқлик ёки газ катта заррачаларнинг силжиши пайтида иссиқликнинг ҳароратлари турлича бўлган бир қисмидан бошқа қисмига ўтиши тушунилади. Конвекция фақат ҳаракат қилаётган муҳитда юз бериши мумкин, чунки бунда иссиқликнинг тарқалиши муҳитнинг силжиши билан боғлиқдир.

Суюқлик ёки газ оқими ва уларга тегиб турган жисм юзаси оралиғида иссиқликнинг тарқалиши конвектив *иссиқлик алмашиниш* ёки *иссиқликнинг берилиши* деб аталади. Суюқлик муҳити икки қатламдан иборат бўлади: чегара қатлами ва оқимнинг маркази. Каттиқ жисм юзасидан ҳароратни  $t_g$ , оқим марказидаги ҳароратни  $t_m$ , чегара қатламнинг қалинлигини  $\delta$  билан белгилаймиз.

Каттиқ жисм юзасидан чегара қатлам орқали энергия иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан ўтади. Чегара қатламдан муҳитнинг марказига иссиқлик асосан конвекция орқали тарқалади. Иссиқликнинг каттиқ жисм юзасидан суюқлик муҳитига берилиш жараёнига оқимнинг ҳаракат режими катта таъсир кўрсатади.

Конвекция икки турга бўлинади (табiiй ва мажбурий). Суюқликнинг “иссиқ” ва “совуқ” қисмларидаги зичликлар фарқи таъсирида табiiй конвекция юзага келади. Мажбурий конвекция ташқи кучлар (насос, вентилятор, аралаштиригич) таъсирида ҳосил бўлади.

Суюқлик турбулент режим билан ҳаракатланганда иссиқлик алмашиниш жараёни анча тез боради, ламинар режимда эса секин кетади.

**Ньютон қонуни.** Конвектив иссиқлик алмашинишнинг асосий қонуни Ньютоннинг совитиш қонуни ҳисобланади. Бу қонунга кўра иссиқлик алмашиниш юзасидан атроф муҳитга (ёки, аксинча бирор муҳитдан каттиқ жисм юзасига) берилган иссиқлик миқдори  $dQ$  деворнинг юзасига ( $dF$ ), юза ва муҳит ҳароратларининг фарқига ( $t_d - t_m$ ) ҳамда жараённинг давомлигига ( $d\tau$ ) тўғри пропорционалдир, яъни:

$$dQ = \alpha (t_d - t_m) dF d\tau, \quad (12.16)$$

бу ерда  $\alpha$  - иссиқлик бериш коэффициентлари.

Иссиқлик бериш коэффициентлари қуйидаги улчов бирлигига эга:



$$[\alpha] = \left[ \frac{dQ}{dF d\tau (t_D - t_M)} \right] = \left[ \frac{Ж}{м^2 \cdot с \cdot град} \right] = \left[ \frac{Вт}{м^2 К} \right].$$

Узлуксиз иссиқлик алмашиниш жараёни учун (1.5) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = \alpha F (t_D - t_M). \quad (12.17)$$

Иссиқлик бериш коэффициентини  $\alpha$  деворнинг  $1 м^2$  юзасидан суяқликка (ёки муҳитдан  $1 м^2$  юзали деворга) 1с вақт давомида, девор ва суяқлик ҳароратларининг фарқи  $1^\circ C$  бўлганда берилган иссиқликнинг миқдори билдиради. Бу коэффициентнинг миқдори қатор катталикларга боғлиқ: суяқликнинг тезлиги  $\omega$ , унинг зичлиги  $\rho$ , қовушқоқлиги  $\mu$ , муҳитнинг иссиқлик-физик хоссалари (солиштирма иссиқлик сиғими  $s$ , иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\lambda$ , суяқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти  $\beta$ ), деворнинг шакли, ўлчами (труба учун  $d$  – диаметр,  $L$  - узунлик) ва унинг ғадир-будирлиги  $\epsilon_0$ .

Шундай қилиб иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати қуйидаги катталикларга боғлиқ экан:

$$\alpha = f(\omega, \rho, \mu, s, \lambda, \beta, d, L, \epsilon_0). \quad (12.18)$$

Иссиқлик бериш коэффициенти бу катталикларга боғлиқ бўлганлигидан, иссиқлик ўтказиш жараёнларининг барча кўриниши учун  $\alpha$  нинг қийматини ҳисоблаб чиқарадиган умумий тенгламани олишнинг имкони йўқ. Фақат иссиқлик алмашинишнинг типавий жараёнлари учун тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида қайта ишлаш орқали критериал тенгламаларни чиқариш мумкин. Бу критериал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ҳисоблаб топилади.

**Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенгламаси.** Амалда учрайдиган кўпгина жараёнларга тенгламаларни тадбиқ қилиб бўлмайди. Шу сабабдан бу тенгламалар ҳисоблаш техникасида ишлатилмайди. Ҳисоблаш ишларида ифодаларни ўхшашлик назарияси билан қайта ишлаш натижасида олинган критериал тенгламалар кенг ишлатилади. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенгламаси умумий ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, Fo);$$

Иссиқлик алмашинишнинг аниқ ҳоллари кўрилганда критериал тенглама анча соддалашади. Масалан, турғун жараёнлар учун тенгламадан Фурье мезони қисқартирилади. У ҳолда:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr).$$

Суяқлик оқими мажбурий ҳаракат қилган пайтда критериал тенгламадаги Грасгоф мезони ҳисобга олинмайди. Бунда конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериал тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Nu = f(Re, Pr).$$

Сууюқликнинг эркин ҳаракати пайтида Рейнольдс мезони қисқартирилади. У ҳолда критериал тенглама қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu \approx f(Gr, Pr)$$

Иссиқлик алмашиниш жараёнининг аниқ ҳоллари ҳал қилинганда тегишли критериал тенгламалар ёрдамида Нуссельт мезонининг қиймати топилади. Сўнгра Нуссельт мезонининг тенгламаси орқали иссиқлик бериш коэффициентини  $\alpha$  аниқланади:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$$

Бундан

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d}$$

### Иссиқлик бериш коэффициенти

**Конвектив иссиқлик алмашинишнинг тажриба натижалари.** Ҳозирги вақтда конвектив иссиқлик алмашинишнинг ҳамма турлари илмий жиҳатдан тадқиқ қилинган, тадқиқотлар натижалари асосида тегишли критериал тенгламалар ишлаб чиқилган критериал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари ҳисоблаб топилади.

**Тўғри труба ва каналларда ривожланган турбулент оқимда иссиқлик бериш** ( $Re > 10\,000$ ). Сууюқлик оқими учун ҳисоблаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25}$$

Газлар учун  $\frac{Pr}{Pr_D} = 1$ ;  $Pr$  нинг қиймати эса газнинг атомлар сонига боғлиқ. Шу сабабли газлар учун критериал тенглама анча соддалашади. Масалан, ҳаво учун тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Nu = 0,018 \varepsilon_e Re^{0,8}$$

Ўтиш соҳасида иссиқликнинг берилиши ( $2300 < Re < 10000$ ). Ҳисоблаш учун аниқ тенглама бўлмаганлиги сабабли қуйидаги тахминий критериал тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Nu = 0,008 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$$

Тўғри труба ва каналлардаги ламинар оқимда иссиқликнинг берилиши ( $Re < 2300$ ). Эркин конвекциянинг таъсири кам бўлганда ( $Gr < 4Re Nu$ ,  $Re > 10$  ва  $L/d > 10$ ) қуйидаги ҳисоблаш тенгламасидан фойдаланилади:

$$Nu = 1,4 \left( Re \frac{d}{L} \right)^{0,4} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$$

Текис трубалар ўрамининг оқимини кўндаланг айланиши пайтидаги иссиқлик бериши:

а) Коридор (йўлак) симон ва шахматли ўрам учун ( $Re < 1000$ ):

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\varphi}$$

б) Коридорсимон ўрам учун ( $Re > 1000$ ):

$$Nu = 0,22 \cdot Re^{0,65} \cdot Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_{\varphi}$$

в) Шахматли ўрам учун:

$$Nu = 0,4 Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left( \frac{Pr}{Pr_o} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon$$

Иссиқлик ўтказиш коэффиценти  $K$  қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_K} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_T}{F_H} + \Sigma r}$$

бу ерда  $F_T$  - киррали труба ташки юзалари тўла майдоннинг ўзунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати;  $F_H$  - труба ички юзаси майдонининг ўзунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати;  $\alpha_2$  - трубанинг ичидан ўтаётган оқим учун иссиқлик бериш коэффиценти;  $\Sigma r$  - девор ва девор юзаларига жойлашган ифлосликлар термик қаршиликларининг йиғиндиси.

Айрим иссиқлик алмашиниш жараёнларида иситилаётган ёки совитилаётган материаллар ўзининг агрегат ҳолатини ўзгартиради, яъни буғланиш, конденсациялаш, суюқланиш ёки кристалланиш жараёнлари содир бўлади. Бу жараён алоҳида хусусиятга эга: материалга иссиқликнинг келиши ёки ундан олиб кетилиши ўзгармас ҳароратда боради, иссиқлик бир фазада эмас, балки икки фазада тарқалади. Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган жараёнлар ичида буғнинг конденсацияланиши ва суюқликларнинг қайнаши пайтидаги иссиқлик бериш кенг ишлатилади.

**Буғнинг конденсацияланиши.** Кимёвий қурилмаларда буғ орқали иссиқлик беришда буғ суюқликларнинг қатлам ҳолида конденсацияланади. Буғнинг конденсацияланиши вақтида асосий термик қаршилиқ конденсатнинг юпқа қатламида юз беради. Суюқликларнинг қатламнинг девор томондаги ҳароратини деворнинг ҳарорати  $t_d$  га, буғ томондаги ҳароратини эса тўйиниш ҳарорати  $t_r$  га тенг деб олинади. Суюқликларнинг қатламнинг термик қаршилигига нисбатан буғ фазасининг термик қаршилиги жуда кичик.

Буғнинг конденсацияланишида иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги умумий тенглама ёрдамида аниқланилади:

$$Nu = f(Ga, Pr, K)$$

Бу ифодани қайта ишлаш натижасида вертикал жойлашган текис ёки цилиндрсимон юзада конденсат суюқликларнинг қатламининг ламинар ҳаракати учун қуйидаги назарий тенглама чиқарилган:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{rg^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}}$$

Конденсатнинг физик-кимёвий катталиклари ( $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ) суюқликларнинг қатламнинг ўртача ҳарорати  $t_{пл} = \frac{t_T + t_D}{2}$  бўйича топилади. Конденсацияланиш иссиқлиги тўйиниш ҳарорати  $t_T$  га қараб аниқланади. Ҳароратлар фарқи

$\Delta t = t_T - t_D$ ,  $H$  - вертикал юзанинг баландлиги.

Битта горизонтал трубанинг ташқи юзасида буғнинг конденсацияланиши учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\alpha = 0,728 \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta r \cdot D}}$$

бу ерда  $d$ -труба диаметри.

Техникавий ҳисоблашларда, агар иссиқлик беришнинг иккинчи коэффициенти анча кичик қийматга эга бўлса, конденсацияланаётган сув буғи учун иссиқлик бериш коэффицентининг қийматини тахминан қуйидаги интервалда олиш мумкин;

$$\alpha = 10000 \dots 12000 \text{ Вт/ м}^2 \text{ К ёки Вт/ м}^2 \text{ }^\circ\text{С}$$

**Суюқликнинг қайнаши.** Суюқликнинг қайнаши пайтида иссиқлик бериш жараёнидан кимё технологиясида (масалан, буғлатиш, ректификация, совитиш қурилмаларида) кенг фойдаланилади. Бу жараён жуда мураккаб жараёнлар жумласига киради.

Суюқлик қайнаш ҳароратигача қиздирилганда девор яқинидаги чегара қатлам бўзилади, натижада буғ пуфакчалари ҳосил бўлади. Бу пуфакчаларнинг шакли ва уларнинг сони берилаётган иссиқлик миқдорига, иситиш юзасининг тозалигига ва гадир-будирлигига, суюқликнинг иситиш юзасини намлаш қобилиятига боғлиқ.

Суюқликнинг қайнаши икки хил режимда бориши мумкин (пуфакли қайнаш, суюқликларнинг қатлам билан қайнаш). Пуфакли қайнаш пайтида иссиқлик бериш тезлиги анча юқори бўлади. Ҳароратлар фарқи  $\Delta t$  ( $\Delta t = t_D - t_K$ ; ) бу ерда ;  $t_D$  -иситиш юзасининг ҳарорати,  $t_K$  -суюқликнинг қайнаш ҳарорати) ортиб борган сари буғланиш марказлари шундай кўпайиб кетадики, оқибатда пуфакчаларнинг ўзаро қушилиб кетиши натижасида иситиш юзасининг усти қиздирилган буғнинг суюқликларнинг қатлами билан копланди. Бу қатлам

иссиқликни ёмон утказганлиги сабабли  $\alpha$  нинг қиймати камайиб кетади. Бундай ҳолат суюқликларнинг қатлам билан қайнаш деб юритилади.

### Иссиқлик ўтказиш жараёнларининг интенсивлаш

Кимё саноатидаги кўпчилик жараёнлар иссиқлик таъсирида боради ва бундай жараёнларни амалга ошириш учун турли иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилади. Ишлаб чиқаришнинг қувватини ошириш учун иссиқлик алмашилиш қурилмалари самарали ишлаши, содда бўлиши ва маҳсулот сифатига ёмон таъсир кўрсатмаслиги керак. Бундан ташқари, иссиқлик қурилмаларини тайёрлаш учун кам металл сарф бўлиши лозим. Бундай масалаларни ҳал қилиш учун иссиқлик алмашилиш жараёнларини интенсивлаш зарур.

Иссиқлик жараёнларини интенсивлаш қурилмалар иш унумдорлигини оширишга, уларнинг ўлчамини кичрайтиришга, ишлаб чиқариш хоналарининг сахнини камайтиришга олиб келади. Бу нарса ўз навбатида иссиқлик қурилмаларини ишлатиш ва уларни ремонт қилиш учун кетаётган сарфларни камайтиради, битта ишчига тўғри келадиган маҳсулот миқдорини оширади ва хоказо. Иссиқлик жараёнлари тезлатилганда материални иситиш учун кетаётган вақт камаяди, бу ҳол эса маҳсулот сифатини пасайтиришга олиб келмаслиги лозим.

Текис деворлар учун иссиқлик ўтказиш коэффициентини топишдаги қуйидаги тенгламани анализ қилиб кўрамиз:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Деворнинг термик қаршилигини камайтириш учун девор қалинлиги  $\delta$  ни камайтириш ва девор материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\lambda$  ни кўпайтириш керак. Конвектив иссиқлик алмашилишини ( $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$ ) интенсивлаш учун суюқликни аралаштириш ва оқимнинг тезлигини ошириш зарур. Агар иссиқлик нурланиш орқали тарқалаётган бўлса, нур чиқараётган юзанинг қоралилик даражасини ва унинг ҳароратини ошириш мақсадга мувофиқдир. Агар текис деворнинг термик қаршилиги ҳисобга олинмаса бунда юқорида берилган тенглама қуйидаги кўринишни олади;

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

тенгламадан кўриниб турибдики,  $K$  нинг қиймати ҳар доим  $\alpha$  нинг энг кичик қийматидан ҳам кам бўлади.

Агар  $\alpha_1 = 40 \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)}$ ,  $\alpha_2 = 5000 \frac{Вт}{(м^2 \cdot К)}$  бўлса, у ҳолда

$K = 39,7 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$  бўлади.  $\alpha_2$  қийматнинг ортиши  $K$  нинг қийматига таъсир қилмайди.  $\alpha_1 = 40 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$  ва  $\alpha_1 = 10000 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$  бўлганда  $K = 39,8 \frac{Bm}{(m^2 \cdot K)}$  бўлади.  $K$  нинг қийматини анчагина ошириш учун кичик қийматли  $\alpha$  нинг қийматини (бизнинг мисолда  $\alpha_1$  нинг қийматини) ўзгартириш лозим.

Агар  $\alpha_2 = 5000$  ва  $\alpha_1 = 80$  бўлса,  $K = 78,8 \frac{B_T}{(m_2 \cdot K)}$ ;  $\alpha_1 = 200$  деб олинса,  $K = 192 \frac{B_T}{(m_2 \cdot K)}$ .

Демак,  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  бўлса, жараёни интенсивлаш учун фақат  $\alpha_1$  нинг қийматини ошириш лозим экан. Агар  $\alpha_1 \approx \alpha_2$  бўлса, бундай иссиқлик алмашилиш жараёнини тезлатиш учун иккала  $\alpha_1$ , ва  $\alpha_2$ , нинг қийматларини ҳам ошириш мақсадга мувофиқдир.

Иссиқлик алмашилиш жараёнларини қуйидаги усуллар ёрдамида интенсивлаш мумкин; 1) иссиқлик ташувчи агентларнинг тезлигини кўпайтириш; 2) иситиш юзасини даврий равишда тозалаб туриш; 3) асосий суюқлик оқимини пулрсацион тебранишлар орқали юбориш; 4) суюқлик оқимига ҳавони хайдаш; 5) суюқликнинг юпқа қатламли ҳаракатини ташкил қилиш ва бошқалар. Ҳар бир конкрет шароит учун интенсивлашнинг тегишли усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

### Назорат саволлари

1. Иссиқлик тарқалишининг неча принципиал тури мавжуд?
2. Иссиқлик ўтказувчанлик деб нимага айтилади?
3. Фурье ва Ньютон қонунларини тушинтиринг.
4. Конвекция деб нимага айтилади?
5. Конвекциялар неча хил бўлади?
6. Иссиқликнинг ўтиши деб нимага айтилади?
7. Иссиқлик миқдори тенгламасини ёзинг.
8. Иссиқлик ўтказиш тенгламасини ёзинг.
9. Буғнинг конденсацияланиши деганда нимани тушунасиз?
10. Буғ конденсацияда иссиқлик бериш коэффициенти қандай умумий тенглама орқали аниқланади?
11. Суюқликни қайнаши неча хил режимда олиб борилиши мумкин?

## 15-Маъруза

### Мавзу: Иссиқлик ўтказиш

**Режа:**

1. Иссиқлик ўтказиш асосий тенгламаси.
2. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи.
3. Иситиш, совитиш ва конденсациялаш.

*Таянч сўзлар ва иборалар:* агентлар, хоссаси, ўткир буг, ўткир буг, кучсиз буг, иссиқ сув, тутунли газлар, моддалар, электр токи, сув, ҳаво, конденсация.

### Иссиқлик ўтказиш асосий тенгламаси

Иссиқлик алмашиниш жараёнларида иссиқлик бир муҳитдан иккинчисига ўтади. Кўпинча иссиқлик ташувчи агентлар бир-биридан девор орқали (қурилманинг, трубанинг девори ва хоказо) ажратилган бўлади. Ҳарорати юқори бўлган муҳитдан ҳарорати паст бўлган муҳитга бирор девор орқали иссиқликнинг берилиши иссиқликнинг ўтиши деб аталади. Бунда берилган иссиқликнинг миқдори  $Q$  иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$Q = K \cdot \Delta t_{\text{ўр}} \cdot F \cdot \tau;$$

бу ерда  $K$ —иссиқлик ўтказиш коэффиценти;  $\Delta t_{\text{ўр}}$ —Иссиқ ва совуқ муҳит ҳароратларининг ўртача фарқи;  $F$ —муҳитларни ажратувчи девор юзаси;  $\tau$ —жараённинг давомийлиги.

Узлуксиз ишлайдиган турғун жараёнлар учун тенгламадан  $\tau$  ҳисобга олинмайди. У ҳолда:

$$Q = K \Delta t_{\text{ўр}} \cdot F.$$

Кимёвий технологияда кўпинча иссиқлик труба юзаси орқали ўтади. Цилиндрсимон юзадан иссиқлик ўтишининг принципиал схемаси кўрсатилган. Труба ичида ҳарорати  $t_1$  бўлган иссиқлик муҳити бўлиб, ундан иссиқлик трубанинг ички юзасига берилади. Труба ташқарисида ҳарорати  $t_2$  бўлган совуқ муҳит бор. Труба ташқи юзасидан совуқ муҳитга иссиқликнинг берилиши  $\alpha$  билан ифодаланади. Трубанинг баландлигини  $L$ , ички радиусини  $r_H$ , ташқи радиусини эса  $r_T$  билан белгилаймиз. Цилиндрсимон юзадан ўтказилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади;

$$Q = K_R \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau (t_1 - t_2).$$

$K_R$  нинг қиймати эса ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_H} + \frac{1}{\lambda} 2,31g \frac{r_T}{r_H} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_T}}$$

$K_R$  иссиқлик ўтказишнинг чизикли коэффициентлари деб аталади. Агар  $K$  нинг қиймати юза бирлигига нисбатан олинса,  $K_R$  нинг қиймати труба ўзунлигининг бирлигига нисбатан олинади. Шу сабабли  $K_R = [V_T / (m K)]$  ёки  $V_T / (m \text{ } ^\circ\text{C})$  ўлчов бирлигига эга.

Қалин деворли цилиндрсимон юзаларни, жумладан, катта қалинликдаги изоляция қатлами билан қопланган трубаларни ҳисоблашдагина ва тенгламалардан фойдаланилади. Суюқликларнинг деворли трубаларни ҳисоблашда эса юқоридаги тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

### Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи

Муҳитлар ҳарорати ўртасида бирор фарқ бўлгандагина иссиқлик ҳарорати юқори бўлган муҳитдан ҳарорати паст бўлган муҳитга ўтади. Бундай ҳароратлар фарқи иссиқлик алмашилиши юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни улар бир хил қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли иссиқлик алмашилиши жараёнларини ҳисоблашда ўртача ҳароратлар фарқи  $\Delta t_{\text{ўр}}$  деган тушунча ишлатилади. Муҳитларнинг ўртача ҳароратлар фарқи иссиқлик алмашилиши жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи деб юритилади.

Суюқликлар ҳароратларининг иссиқлик алмашилиши юзаси бўйича ўзгариши муҳитларнинг ўзаро йўналишига боғлиқ. Иссиқлик алмашилиши қурилмаларида иссиқ ва совуқ суюқликлар ўзаро параллел, қарама-қарши ёки ўзаро кесишган бўлиши мумкин.

Булардан ташқари амалда иссиқлик ташувчи агентларнинг анча мураккаб тасвирлари ҳам учрайди. Иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши бир ёки қарама-қарши томонга йўналган бўлганда ўртача ҳароратлар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{ки}}}{2,3lg \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{ки}}}}$$

бу ерда  $t_{\text{ка}}$  ва  $t_{\text{ки}}$  — иссиқлик алмашилиши қурилмасининг четларидаги ҳароратларининг катта ва кичик фарқлари, ҳароратларнинг бу фарқлари қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_{\text{ка}} = t_1' - t_2'; \quad \Delta t_{\text{ки}} = t_1'' - t_2'';$$

$$\Delta t_{\text{ка}} = t_1'' - t_2''; \quad \Delta t_{\text{ки}} = t_1' - t_2',$$

Агар  $\Delta t_{\text{ка}} / \Delta t_{\text{ки}} < 2$  бўлса, ўртача ҳароратлар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \frac{(\Delta t_{\text{ка}} + \Delta t_{\text{ки}})}{2}$$

Бундай ҳисоблашда хатолик 4 % дан ортмайди. Тенгламадан кўриниб турибдики, агар  $t_{\text{ка}} = 0$  ва  $t_{\text{ки}} = 0$  бўлса, унда  $\Delta t_{\text{ўр}} = 0$  агар  $\Delta t_{\text{ка}} = \Delta t_{\text{ки}}$  бўлса:



$$\Delta t_{\text{ўр}} = \Delta t_{\text{ка}} = \Delta t_{\text{ки}}$$

Агарда иссиқлик ташувчи агентлардан бирининг ҳарорати юза бўйича ўзгармаса (тўйинган буғнинг конденсацияланиши, суюқликнинг қайнаши), бундай шароитда  $\Delta t_{\text{ўр}}$  - нинг қиймати ёки тенгламалар бўйича ҳисобланади. Агар иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши ўзаро кесишса, ўртача ҳароратлар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{ки}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{ки}}}}$$

бу ерда  $\varepsilon_{\Delta t}$  — муҳитларнинг ҳароратлари нисбатига боғлиқ бўлган коэффициент. Бу коэффициентнинг қиймати тегишли адабиётларда келтиралади.

### Иситиш, совитиш ва конденсациялаш

Кимё ва озиқ-овқат саноатида суюқлик ва газларни иситиш ва совитиш, буғларни конденсациялаш каби иссиқлик жараёнлари кенг тарқалган. Бундай жараёнлар иссиқлик алмашилиш қурилмаларида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашилиш жараёнларида катнашувчи моддалар **иссиқлик ташувчи агентлар** деб юритилади. Юқори ҳароратга эга бўлиб, ўзидан иссиқликни иситилаётган муҳитга берувчи моддалар **иситувчи агентлар** деб юритилади. Совитилаётган муҳитга нисбатан паст ҳароратга эга бўлган ва ўзига муҳитдан иссиқликни олувчи моддалар **совитувчи агентлар** деб аталади.

Кимёвий технологияда кўпинча бевосита иссиқлик манбаи сифатида ёқилғиларнинг ёнишидан ҳосил бўлган газлар ва электр энергияси ишлатилади. Бундай бевосита иссиқлик манбаларидан иссиқлик олиб, ўзининг иссиқлигини қурилмаларнинг деворлари орқали иситилаётган муҳитга берувчи моддалар оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар деб аталади.

Оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар қаторига сув буғи, иссиқ сув ва юқори ҳароратли иссиқлик ташувчи моддалар (қиздирилган сув, минерал мойлар, органик суюқликлар ва уларнинг буғлари, суюлтирилган тузлар, суюқ металллар ва уларнинг қотишмалари) киради.

Оддий ҳароратгача ( $10 \div 30^\circ\text{C}$ ) совитиш учун сув ва ҳаво каби совитувчи агентлар кенг ишлатилади.

Иссиқлик ташувчи агентларни танлашда уларнинг қуйидаги хоссаларига аҳамият бериш керак: 1) керакли муҳитни иситиш ёки совитиш даражаси ва уни бошқариш; 2) минимал массавий ва ҳажмий сарфларда юқори иссиқлик алмашилиш тезлигига эришиш; 3) қовушоқлиги кам, зичлик, иссиқлик сиғими ва буғ ҳосил бўлиш иссиқлиги юқори; 4) ёнмайдиган, зарарсиз, иссиқликка чидамли бўлгани маъқул; 5) иссиқлик алмашилиш қурилмаси тайёрланган материални бузмаслиги керак; 6) камёб бўлмаслиги ва арзон бўлиши зарур.

### Иситиш агентлари

Кўпчилик шароитларда иситувчи агентлар сифатида ишлаб чиқаришдан чиқаётган маҳсулотлар, ярим маҳсулотлар ва чиқиндиларнинг иссиқликларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир.

**Сув буғи билан иситиш.** Саноатда иситувчи агент сифатида тўйинган сув буғи кенг ишлатилади. Сув буғи бир қатор афзалликларга эга. Буғнинг конденсацияланишида катта миқдорда иссиқлик ажралади, чунки буғнинг конденсацияниш иссиқлиги  $9,8 \cdot 10^4$  Па босимда  $2,26 \cdot 10^6$  Ж/кг га тенг. Конденсацияланган буғ орқали иссиқлик бериш коэффиценти юқори  $\alpha = 10^4 \div 1,2 \cdot 10^4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). Натижада иситиш учун жуда кам юза талаб қилинади.

Тўйинган сув буғи маълум бир босимда бир хил ҳароратда конденсацияланади, бу унинг катта афзаллиги ҳисобланади. Натижада тегишли иситиш ҳароратсини жуда аниқ ушлаб туриш имконияти пайдо бўлади. Керак бўлган шароитда буғнинг босимини ўзгартириш йули билан иситиш даражасини бошқариш мумкин. Буғ конденсатидан фойдаланиш натижасида ҳам иситувчи қурилмаларнинг фойдали иш коэффиценти анча юқори бўлади. Сув буғи ёнмайди ва ундан фойдаланиш анча қулай. Сув буғининг ҳарорати ортиши билан унинг босими ҳам ортади. Бу ҳол сув буғининг асосий камчилигидир. Шу сабабли амалда тўйинган сув буғи ёрдамида фақат  $150 \div 180^\circ\text{C}$  гача иситиш мумкин (бунда босим  $0,5 \div 1,2$  МПа га тенг бўлади). Катта босимли буғни ишлатиш учун қалин деворли ва қимматбаҳо қурилмалар керак бўлади.

**Ўткир буғ билан иситиш.** Бунда сув буғи тўғридан-тўғри иситилаётган суюқликка киритилади. Буғнинг конденсацияланишида ажралиб чиқаётган иссиқлик суюқликка ўтади, ҳосил бўлган конденсат эса суюқлик билан аралашади. Суюқликни бир пайтнинг ўзида иситиш ва аралаштириш учун барботёр (майда тешиклари бўлган труба) орқали сув буғи юборилади. Ўткир буғ билан иситиш жараёнида иситилаётган суюқлик конденсат ҳисобига анча суюлтирилади. Шу сабабли одатда ўткир буғ сув ва сувли эритмаларни иситиш учун ишлатилади.

Суюқликларни иситиш учун керак бўлган ўткир буғнинг сарфи қуйидаги иссиқлик баланси орқали топилади:

$$Gct_1 = DJ_6 = Gct_2 + Dc_k t_2 + Q_{\text{и}} \quad (15.1)$$

бу ерда  $G$  – иситилаётган суюқлик миқдори, кг/с;  $D$  – иситувчи буғнинг сарфи, кг/с;  $c$  – иситилаётган суюқликнинг ўртача солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·К);  $t_1, t_2$  – суюқликнинг иситишдан олдинги ва кейинги ҳароратлари, К;  $J_6$  – иситувчи буғнинг солиштирма иссиқлик энтальпияси (иссиқлик ушлаши), Ж/кг;  $c_k$  – конденсатнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·К);  $Q_{\text{и}}$  – қурилманинг атроф муҳитга йўқотган иссиқлиги, Вт (сарф бўлган иссиқликнинг  $3 \div 5\%$  ни ташкил этади).

Бундан ўткир буғнинг сарфи:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{\text{и}}}{J_6 - c_k t_2} \quad (15.2)$$

**Кучсиз буғ билан иситиш.** Бунда иссиқлик буғдан суюқлик бирор ажратувчи девор (масалан, қобикли ва змеевикли қурилмаларда) орқали ўтади.

Иситувчи буғ тўла конденсацияланади ва у қурилманинг иситиш бўшлиғидан конденсат сифатида чиқарилади. Конденсат ҳароратини буғнинг тўйиниш ҳароратига тенг деб олиш мумкин.

Кучсиз буғнинг сарфи қуйидаги иссиқлик балансидан топилади:

$$G c t_1 + D I_6 = G c t_2 + D I_k + Q_{\text{й}} \quad (15.3)$$

ёки 
$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{\text{й}}}{J_6 - J_k}$$

буерда  $I_k$  - конденсат энтальпияси.

**Иссиқ сув билан иситиш.** Иссиқ сув ёрдамида одатда 100°C гача иситиш мумкин. 100°C дан юқори ҳароратда иситиш учун юқори босимли иссиқ сув ишлатилади. Баъзан иситиш учун сув буғининг конденсатидан фойдаланилади. Иссиқ сув тутун газлари билан иситиладиган сув иситувчи қозонларда ва буғ ёрдамида ишлайдиган иситкичлар (бойлерлар) да олинади.

Иссиқ сув билан иситиш бир қаторда камчиликларга эга. Иссиқ сув орқали иссиқлик бериш коэффиценти конденсацияланаётган буғ орқали иссиқлик бериш коэффицентиға нисбатан анча кам. Иссиқлик алмашиниш юзаси бўйлаб иссиқ сувнинг ҳароратси ўзгариб боради, бу ҳол эса бир текисда иситишни ташкил қилиш ва иситиш жараёнини бошқаришни қийинлаштиради. Айрим шароитларда юқори ҳароратларгача иситиш учун ўта қиздирилган сув ишлатилади. Бундай сув иситувчи агент сифатида критик босимларда (22 МПа) ишлатилади. Бундай критик босимга 347°C ҳарорат тўғри келади. Шу сабабли ўта қиздирилган сув ёрдамида материалларни тахминан 350°C гача иситиш мумкин. Бунда иситиш юқори босимни ишлатиш билан боғлиқ бўлганлиги сабабли қурилмаси мураккаблашади ва у қиммат туради.

Ўта қиздирилган сув ёки бошқа суюқ ҳолатдаги иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида иситиш табиий ёки мажбурий циркуляция билан ишлайдиган қурилмаларда олиб борилади.

### Тутун газлари билан иситиш

Тутун газлари билан иситиш турли саноат соҳаларида анча вақтдан бери қўлланилиб келинаётган усуллардан биридир. Тутун газлари суюқ, газсимон ва қаттиқ ёқилгиларни махсус ўтхоналарида ёндириш натижасида ҳосил бўлади. Ушбу газлар ёрдамида 1000...1100°C температурагача иситиш мумкин.

Тутун газлари ёрдамида иситишнинг камчиликлари: кичик иссиқлик бериш коэффиценти [35...60 Вт/(м<sup>2</sup> ·К)]; температураларининг фарқи жуда катта ва иситиш жараёни бир текисда эмас; температурани ростлаш мураккаб; қурилма деворларининг оксидланиши ва тутун таркибида зарарли моддаларнинг борлиги, ушбу усулни озиқ-овқат маҳсулотларини қайта ишлашда қўллаш мумкин эмас.

Лекин, кимё саноатида тутун газларини қўллаш катта самара беради, чунки ушбу газларни ишлатишда қўшимча ёқилғи талаб этилмайди. Шунинг учун тутун газларини иситиш жараёнида қўллаш иқтисодий жиҳатдан жуда фойдалидир.

## Юқори температурали органик суюқлик ва уларнинг буғлари билан иситиш

Ушбу гуруҳ иссиқлик элткичларига куйидаги органик моддалар киради: глицерин, этиленгликоль, нафталин, дифенил эфири, дифенилметан, дитоллилметан, дифенил ва полифенолларни хлорлаш маҳсулотлари, минерал мойлар, тетрахлордифенил, кремний органик бирикмалар ва ҳоказолар.

Саноатда энг кенг тарқалган юқори температурали органик суюқликлардан бири дифенил аралашма (26,5 - дифенил ва 73,5% - дифенил эфири) сидир. Ушбу иссиқлик элткич циркуляцион усулда иситиш учун ишлатилади ва эркин циркуляция шароитида иссиқлик бериш коэффиценти 200...350 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Дифенил аралашмасининг асосий афзалликларидан бири шундаки, юқори босим ишлатмасдан туриб юқори температуралар олиш мумкинлигидир. Масалан, 300°С температурада сув буғининг босими 87,6 ат бўлса, дифенил аралашмасида эса - атиги 2,4 ат.

Ушбу гуруҳдаги органик суюқликлар ёрдамида 250...400°С температурагача иситиш мумкин.

Сув ёки бошқа иссиқлик элткичнинг иситиш учун кетган сарфи иссиқлик балансидан аниқланади:

$$G_c c_c t_{cб} + G_m c_m t_{mб} = G_c c_c t_{cox} + Q_{йук} \quad (15.4)$$

бу ерда  $G_c$  ва  $G_m$  - сув ва маҳсулотнинг массавий сарфлари, кг/соат;  $c_c$  ва  $c_m$  - сув ва маҳсулотнинг иссиқлик сифимлари, кЖ/(кг·К);  $t_{cб}$  ва  $t_{mб}$  - сув ва маҳсулотнинг бошланғич температуралари, °С;  $t_{cox}$  ва  $t_{mox}$  - сув ва маҳсулотнинг чиқишдаги температуралари, °С;  $Q_{йук}$  - атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши, кЖ/соат.

(15.4) дан сувнинг сарфини топиш мумкин:

$$G_c = \frac{G_m c_m (t_{mox} - t_{mб}) + Q_{йук}}{c_c (t_{cб} - t_{cox})} \quad (15.5)$$

## Электр токи билан иситиш

Электр токи ёрдамида материалларни жуда катта температура оралиғида иситиш, зарур температурани ушлаб туриш ва осон ростлаш мумкин. Ундан ташқари, электр иситиш мосламалари содда, ихчам, ишлатиш ва таъмирлаш қулайдир. Лекин, электр токи билан иситиш анча қиммат.

Электр токини иссиқлик энергиясига айлантириш усулига караб ушбу усул бир неча турга бўлинади: электр қаршилиги ёрдамида иситиш, индукцион иситиш, юқори частотали иситиш, электр ёйи билан иситиш.

Электр қаршилиги ёрдамида 1000...1100<sup>0</sup>С гача иситиш мумкин. Атроф-муҳитга иссиқлик йўқотилишини бартараф қилиш учун ўтхона иссиқлик қопламаси билан ўралади. Ўтхонанинг асосий иситиш элементлари сим ёки лентасимон қилиб нихром қотишмасидан ясалади.

Индукцион иситиш қурилма девори қалинлигида ўзгарувчан ток майдони таъсирида фойдали иш коэффиценти уярмавий токлари ҳосил бўлади ва улар

иссиқлик ажралиб чиқишга сабабчи бўлади.

Ушбу усулда бир текисда иситиш мумкин. Одатда индукцион иситишда 400<sup>0</sup>С температурага эришиш ва керакли температурани юқори аниқликда ушлаб туриш мумкин.

Бу усулнинг камчиликларидан бири – бу унинг қимматлиги. Иситишни арзонлаштириш учун комбинациялашган усулдан фойдаланилади. Бунинг учун маҳсулот тўйинган сув буғи ёрдамида 180<sup>0</sup>С гача қиздирилади ва ундан кейин индукцион усулда керакли температурагача иситилади.

**Юқори частотали иситиш.** Ушбу усулда электр токи ўтказмайдиган материаллар иситилади, шунинг учун ҳам **диэлектрик усул** деб номланади.

Юқори частотали иситгичнинг ишлаш принципи қуйидагича: ўзгарувчан электр майдонига жойлаштирилган материал молекулалари майдон частотаси билан тебранма ҳаракат қила бошлайди ва кутбланади. Материал молекулаларининг тебранма ҳаракат энергияси диэлектрик молекулалари орасидаги ишқаланиш кучини енгишга сарфланади ва материал массасида иссиқликка айланади. Ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори ток частотаси ва кучланиш квадратига пропорционалдир. Иситиш бу усулда бир текисда бўлади. Ундан ташқари, иситиш температураси осон ва аниқ ростланади. Лекин, бу турдаги иситгичлар мураккаб ва уларнинг фойдали иш коэффициенти жуда паст бўлади. Ушбу усулда ишлайдиган иситгичларда 1·10<sup>6</sup>...1·10<sup>8</sup> Гц частотали тоқлар қўлланилади.

### **Оддий ҳароратларгача совитиш**

Тахминан 10-30 °С ларгача совитиш учун энг арзон ва қулай совитувчи агентлар – сув ва ҳаво кенг ишлатилади. Ҳавога нисбатан сувнинг иссиқлик сиғими ва иссиқлик бериш коэффициенти катта. Совитиш учун дарё, кўл ва қудуқдан олинган сувлар ишлатилади. Агар сув танқис бўлса, иссиқлик қурилмаларидан қайта чиққан суюқлик очиқ хавзаларда қисман буғлатиш ҳисобига ёки градирняларда ҳаво оқими ёрдамида совутилгандан сўнг қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Совитиш даражаси сувнинг бошланғич ҳароратига боғлиқ. Дарё ва кўл сувнинг ҳарорати йил фаслларида кўра 12-25 °С, қудуқ сувлари 8-15 °С, ишлаб чиқаришда ишлатилиб бўлинган сув тахминан 30<sup>0</sup>С (ёз шароитларида) ҳароратга эга бўлади. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини лойиҳалашда сувнинг ёз пайтига тўғри келадиган ҳарорати олинади. 50<sup>0</sup>С дан юқори ҳароратда сувнинг таркибида эриган тузлар чўкмага тушиб, иссиқлик алмашилиш қурилмасининг юзасига ўтириб қолади, бу ҳол иссиқлик жараёнларининг самарадорлигини камайтиради. Шу сабабли иссиқлик қурилмаларидан чиқаётган сувнинг ҳарорати 40-50<sup>0</sup>С дан ошмаслиги зарур.

Совитиш жараёни учун керак бўлган сувнинг сарфи (W, кг/с) иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$G c_m (t_6 - t_0) = W c_c (t_2 - t_1) \quad (15.6)$$

Бундан

$$W = \frac{G c_m (t_6 - t_0)}{C_c (t_2 - t_1)} \quad (15.7)$$

бу ерда  $G$  – совитилаётган муҳитнинг сарфи, кг/с;  $C_m$  – совитилаётган муҳитнинг ўртача солиштира иссиқлик сифими Ж/(кг·К);  $C_c$  – сувнинг солиштира иссиқлик сифими, Ж/(кг·К);  $t_6, t_0$  – совитилаётган муҳитнинг бошланғич ва охири ҳарорати, К;  $t_1, t_2$  – совитувчи сувнинг дастлабки ва охири ҳарорати, К. (13.10) тенгламани тузишда иссиқликнинг атроф муҳитга йўқолиши ( $Q$ ) ҳисобга олинмаган.

Сув одатда юзали иссиқлик алмашиниш қурилмаларида (совиткичларда) совитувчи агент сифатида ишлатилади. Бундай совиткичларда сув пастдан юқорига қараб ҳаракат қилади, бундан ташқари, аралаштириш йўли билан ишлайдиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ҳам сув ишлатилади, масалан, совитиш ва намлаш учун газ оқимига сув сочиб берилади.

Агар совитилаётган муҳитнинг ҳарорати атмосфера босимида сувнинг қайнаш ҳароратидан юқори бўлса, бунда совитиш жараёни сувнинг қисман буғланиши билан боради. Бу ҳол совитиш учун сувнинг сарфини камайтиради. Буғланиш билан борадиган совитиш жараёни намлаб турилувчи совиткичда, градирняда ва бошқа иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ишлатилади.

Сувни тежаш ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш учун сувдан қайтадан фойдаланиш тизимини жорий этиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бунда сув истеъмоли тежамли бўлади ва оқинди сувлар миқдори камаяди. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ишлатилиб бўлинган сувдан, градирняларда совитилганда сўнг, қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Ҳозирги вақтда совитувчи агент сифатида оддий ҳаво ҳам кенг ишлатилмоқда. Иссиқлик алмашинишини яхшилаш учун ҳаво оқими вентилятор ёрдамида мажбурий циркуляция қилинади ва ҳаво оқими томонидан иссиқлик алмашиниш юзаси кўпайтирилади (масалан, қурилмаларнинг юзаси қовурғали қилиб тайёрланади). Тажриба шуни кўрсатдики, саноатда буғни конденсациялаш қурилмаларида мажбурий циркуляцияли ҳаво оқими ёрдамида совитиш сув билан совитишга нисбатан тежамлироқдир. Бундан ташқари, ҳаво билан совитишдан фойдаланиш сувнинг умумий сарфини камайтиради, бу ҳол эса сув ресурслари кам жойлар учун катта аҳамиятга эга.

Ҳаво билан совитишнинг асосий афзалликлари: 1) ҳамма жойда мавжуд бўлган совитувчи агент; 2) совитиш юзасининг ташқи томонини амалий жиҳатдан ифлос қилмайди.

Ҳавонинг совитувчи агент сифатида сувга нисбатан камчиликлари ҳам бор: ҳавонинг иссиқлик бериш коэффициенти кичик ( $58 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  гача); ҳавонинг солиштира иссиқлик сифими нисбатан кам ( $1 \text{ кЖ/(кг} \cdot \text{К)}$ ). Шу сабабдан ҳавонинг массивий сарфи сувнинг сарфига нисбатан 4 мартаба катта бўлади.

Ҳаво совитувчи агент сифатида аралаштириш усули билан ишлайдиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида (градирняларда) кенг ишлатилмоқда. Градирнялар ичи бўш вертикал қурилма бўлиб, унинг юқориги қисмидан сув сочиб турилади, пастдан юқорига вентилятор ёрдамида ҳаво ҳайдалади. Сув ва

ҳаво ўртасидаги контакт юзасини кўпайтириш учун қурилманинг ичига насадкалар жойлаштирилган.

Пастроқ ҳароратгача (масалан, 0°С гача) совитиш учун совитилиши лозим бўлган суюқликка муз ёки совитилган сув қўшилади. Бунда совитилиши лозим бўлган суюқлик суюқлашади. Совитиш учун керак бўлган музнинг миқдори ( $G_m$ , кг/с) иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$G_m(335,2 + c_c t_o) = G c (t_o - t_6); \quad (15.11)$$

Бундан

$$G_m = \frac{G_c(t_o - t_6)}{335,2 + c_c t_o} \quad (15.12)$$

бу ерда  $G$  – совитилаётган суюқликнинг массаси, кг/с;  $c$  – совитилаётган суюқликнинг солиштира иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К);  $c_c$  – сувнинг солиштира иссиқлик сифими, кЖ/(кг·К);  $t_o$ ,  $t_6$  – совитилаётган суюқликнинг охирги ва бошлангич ҳароратлари, К; 335,2 кЖ/(кг·К) – музнинг эриш иссиқлиги.

Муз ёки қора кристалл шаклидаги ош тузи (NaCl) дан қўшилса, бундай аралашманинг эриш ҳарорати 0°С дан паст бўлади ва бу қиймат аралашмадаги тузнинг миқдорига боғлиқ бўлади. Таркибида 29% ош тузи бор муз аралашмаси энг паст ҳарорат (-21,2°С) га эга бўлади.

Совитиш техникасида оралик совуқ ташувчи агент сифатида туз эритмалари (NaCl ва CaCl<sub>2</sub>) ишлатилади.

Анча паст ҳароратгача (<0°С) совитиш учун махсус совитувчи агентлар, масалан, паст ҳароратда қайнайдиган аммиак ва хладонлар ишлатилади.

### **Буғларни конденсациялаш**

Кимё ва озиқ-овқат технологияда буғларни сув ёки совуқ ҳаво ёрдамида совитиш йўли билан конденсациялаш кенг ишлатилади. Буғни конденсациялашдан буғлатиш, вакуум қуриштириш ва бошқа жараёнларда сийракланиш (ёки вакуум) ҳосил қилиш учун фойдаланилади. Конденсацияланиши лозим бўлган буғ тегишли қурилмадан чиқарилиб, конденсаторга берилади. Конденсаторда буғ сув ёки ҳаво ёрдамида конденсацияланади. Буғнинг конденсацияланишидан ҳосил бўлган конденсатнинг ҳажми буғнинг ҳажмига нисбатан тахминан минг марта кичик, шу сабабли конденсаторда сийракланиш пайдо бўлади. Конденсацияланишнинг ҳарорати пасайиши билан сийракланиш даражаси ортади.

Конденсаторнинг иш ҳажмида, буғнинг конденсацияланиши билан бирга ҳаво ва конденсацияланмайдиган газлар йиғилиб қолади. Натижада конденсацияланмайдиган газнинг парциал босими орта боради, бу ўз навбатида қурилмадаги вакуумни камайтиради. Шу сабабли вакуумнинг қийматини маълум даражада тўтиб туриш учун конденсатордан конденсацияланмай қолган газларни узлуксиз равишда сўриб олиб туриш керак. Бу вазифа вакуум-насос ёрдамида амалга оширилади.

Совитиш усулига кўра аралаштирувчи ва юзали конденсаторлар бўлади. Аралаштирувчи конденсаторда буғ ва совитувчи сув ўзаро тўғридан-тўғри аралашади, Ҳосил бўлган конденсат эса сув билан қўшилиб кетади. Агар конденсацияланиши лозим бўлган буғ қимматбаҳо бўлмаса, бунда жараён аралаштирувчи конденсаторларда олиб борилади. Иссиқлик алмашилини яхшилаш учун совитувчи сув сочиб (пуркаб) берилади, натижада сув ва буғ ўртасидаги контакт юза ортади.

Қурилмадан сув, конденсат ва конденсацияланмай қолган газларни чиқариш усулига кўра ҳўл ва қуруқ аралаштирувчи конденсаторлар бўлади. Ҳўл конденсаторлардан сув, конденсат ва газлар битта махсус вакуум-насос ёрдамида чиқариб ташланади. Қуруқ (ёки барометрик) конденсаторлардан сув ва конденсат биргаликда ўз оқими билан чиқиб кетади, газлар эса қуруқ вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Юзали конденсаторларда буғ ва совитувчи агент (сув ёки ҳаво) ўртасидаги иссиқлик алмашилини жараёни девор орқали амалга оширилади. Бундай қурилмаларда буғларнинг конденсланиши совитилиб туриладиган трубаларнинг Ташқи ёки ички юзаларида юз беради. Ҳосил бўлган конденсат ва совитувчи агент қурилмадан алоҳида-алоҳида чиқарилади. Агар конденсат ишлаб чиқариш аҳамиятига эга бўлса, у қайтадан ишлатилиши мумкин.

### **Назорат саволлари**

1. Иссиқлик алмашилини жараёнларининг қандай турларининг биласиз?
2. Сув буғи ва иссиқ сув билан иситишнинг афзаллиги ва камчилигини изоҳланг.
3. Қандай юқори ҳароратли моддалар билан истиш мумкин?
4. Совитиш учун қандай агентлар ишлатилади?
5. Буғни конденсациялаш жараёнининг мазмуни ва унинг аҳамияти.
6. Иссиқлик алмашилини қурилмаларида қандай жараёнлар олиб борилади?
7. Оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар қайсилар?
8. Оддий ҳароратгача совитиш учун қандай агентлардан фойдаланилади?
9. Иссиқлик ташувчи агентларни танлашда уларнинг қандай хоссаларига этибор бериш керак?
10. Иссиқ сув билан иситиш қандай камчиликка эга?



## 16 -Маъруза

### Мавзу: Иссиқлик алмашиниш қурилмалари

#### Режа:

1. Умумий тушунчалар.
2. Трубали иссиқлик алмашгичлар.
3. Ҳаво билан совитиладиган қурилмалар.
4. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ҳисоби.

*Таянч сўзлар ва иборалар:* мақсади, турлари, қобиқ трубали, кўп йўлли, труба ичида труба, пластиналар, спиралсимон, гилофли, совитувчи қурилмалар.

#### Умумий тушунчалар

Киимё ва озиқ-овқат саноатида маҳсулотларни иссиқлик таъсирида қайта ишлаш жараёнида кенг фойдаланилади. Бу нарса қуйидаги мақсадларга олиб борилади: 1) жараён ҳароратини берилган даражада ушлаб туриш; 2) совук маҳсулотни иситиш ёки иссиқ маҳсулотни совитиш; 3) буғни конденсациялаш; 4) эритмаларни қўйилтириш ва бошқалар.

Бу жараёнлар алоҳида олинган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ёки технология қурилмасининг ўзида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашиниш қурилмалари умуман олганда иккига бўлинади: иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ўзи ва реакторлар. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқлик алмашиниш жараёни асосий жараён ҳисобланади. Реакторларга эса физик-кимёвий жараёнлар асосий ҳисобланиб, иссиқлик алмашиниш эса ёрдамчи жараёндир.

Кимё, нефть кимёси, нефтни қайта ишлаш, озиқ-овқат саноатлари корхоналарида ишлатиладиган технологик ускуналарнинг катта бир улушини иссиқлик алмашиниш қурилмалари ташкил қилади. Кимё саноатида ишлатиладиган иссиқлик қурилмалари умумий қурилмаларнинг ўрта ҳисобда 16-18% ини ташкил этса, нефть кимёси ва нефтни қайта ишлаш саноатларида эса бу рақам 50 га тенг, чунки кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари (буғлатиш, ректификаш, қуритиш ва бошқалар) иссиқликнинг берилиши ёки узатилиши билан боғлиқдир.

Саноатда турли-туман иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилади. Иш принципига кўра иссиқлик алмашгичлар учга бўлинади: 1) рекуператив; 2) регенератив; 3) аралаштирувчи.

**Рекуператив** (ёки юзали) иссиқлик алмашгичда иссиқлик ташувчи агент бир-бири билан девор орқали ажратилган ва иссиқлик биринчи иссиқлик ташувчи муҳитдан иккинчисига уларни ажратувчи девор орқали ўтади.

**Регенератив** иссиқлик алмашгичда қаттиқ жисмдан таркиб топган бир хил юза навбат билан турли иссиқлик ташувчи агентлар билан контакда бўлади. Каттиқ жисм унга тегиб ўтган иссиқлик ташувчидан иссиқлик олиб исийди; бошқа иссиқлик ташувчи ўтганда эса каттиқ жисм ўз иссиқлигини унга бериб совийди. Шундай қилиб бундай қурилмалар (регенераторлар) да иссиқлик

ташувчи агентларнинг ҳаракатидан ташқари каттиқ жисмнинг мажуд бўлиши зарур.

**Аралаштирувчи** қурилмаларда иссиқлик ташувчи агентларнинг ўзаро учрашуви ва аралашувчи натижасида иссиқликнинг алмашиниши юз беради. Иссиқлик алмашиниш қурилмалари қуйидаги белгиларга кўра турларга бўлинади:

Конструктив тузилиши бўйича – трубадан қилинган қурилмалар (қобиқ труба, “труба ичида труба”, змеевикли ва бошқалар; иссиқлик алмашиниш юзаси листли материалдан тайёрланган қурилмалар (пластинали, спиралсимон ва бошқалар); иссиқлик алмашиниш юзасини тайёрлашда нометалл материаллар (графит, пластмасса, шиша ва ҳоказо) дан фойдаланилган қурилмадир;

Ишлатилиш мақсадига кўра – совиткичлар, иситкичлар, буғлатгичлар, конденсаторлар;

Иссиқлик ташувчи агентлар ҳаракатининг йўналишига кўра – тўғри, қарама-қарши, кесишган ва ҳоказо йўналишли қурилмалар.

Иссиқлик бериш усулига кўра иссиқлик алмашиниш қурилмалари қуйидагиларга бўлинади: 1) юзали иссиқлик алмашиниш қурилмалари, буларда иссиқлик бир муҳитдан иккинчи муҳитга ажратиб турувчи сирт (юза) орқали ўтади; 2) аралаштирувчи иссиқлик алмашиниш қурилмалари, буларда иш муҳитлар бевосита ўзаро аралашади.

Кимё ва унга туташ бўлган саноат тармоқлари учун ишлаб чиқарилган иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг тахминан 80% ни қобиқ-труба қурилмалар ташкил этади. Бундай иссиқлик алмашиниш қурилмаларини тайёрлаш осон, ишлатиш эса қулайдир. Қобиқ-труба қурилмалар универсал бўлиб, ундан газ, буғ ва суюқликлар ўртасида иссиқлик алмашинишни ташкил этишда, босим ҳамда ҳароратлар кенг интервалда ўзгарган пайтда ҳам фойдаланилади. Бундан ташқари, қобиқли-труба қурилмаларда иссиқлик ташувчи агентлар ҳаракатининг йўналиши турлича бўлиши мумкин.

“Труба ичида труба” типигаги ва пўлатдан қилинган змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмалари иссиқлик қурилмаларининг умумий ҳажми ичида тахминан 8% ни, чўяндан тайёрланган намланадиган қурилмалар эса 2% ни ташкил этади.

Спиралсимон ва пластинали ҳамда ҳаво билан совитиладиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг улуши ҳозирча кам, бироқ янги қурилаётган технология линияларида бундай қурилмалар кенг ўрин олмоқда. Саноат қурилмаларида иссиқлик алмашинишнинг шарт-шароитлари ҳар хил бўлади. Иссиқлик алмашиниш қурилмалари турлича агрегат ҳолатга (газ, буғ, томчили суюқлик, эмульсия ва бошқалар) ва ҳар хил ҳарорат, босим ва физик-кимёвий хоссаларга эга бўлган иш муҳити учун ишлатилади.

Саноатда чиқариладиган иссиқлик алмашиниш қурилмалари типи, ўлчамлари, параметрлари ва материаллари бўйича жуда кенг номенклатурага эга. Шу сабабдан ҳар бир конкрет шароит учун ҳамма кўрсаткичлари бўйича оптимал бўлган қурилма танлаб олиш имконияти мавжуд. Иссиқлик

алмашиниш қурилмаларини танлашда қуйидаги умумий қонуниятларга амал қилинса мақсадга мувофиқ бўлади.

1. Иссиқлик ташувчи агентларнинг босими юқори бўлса, трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилиши керак; бундай шароитда трубаларнинг ичига босим каттароқ бўлган иссиқлик ташувчи агент юборилади, чунки трубаларнинг диаметри қурилма қобиғининг диаметрига нисбатан кичик бўлганлиги сабабли бирмунча юқори босимга бардош бера олади;

2. Коррозияга учрайдиган иссиқлик ташувчи агентни трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмасининг трубалари орқали берилади, чунки трубалар коррозия таъсирида емирилганда ҳам қурилманинг қобиғи ўзгармайди.

3. Коррозияга учратадиган иссиқлик ташувчи агентлар ишлатилганда коррозияга бардош берувчи полимер материаллар (масалан, фторпласт ва унинг сополимерлари) дан тайёрланган иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилиши керак.

4. Агар иссиқлик ташувчи агентлардан биттаси ифлос бўлса ёки қурилма юзасига чўкма бериш хоссасига эга бўлса, бундай иссиқлик ташувчини иссиқлик алмашиниш юзасининг тозалашга қулай томонига юбориш зарур (масалан, қобиқ-трубаги қурилмаларда трубаларнинг ички юзаси, змееквикли қурилмаларда эса трубаларнинг ташқи юзаси).

5. Иссиқлик алмашиниш шароитини яхшилаш ҳар доим иссиқлик ташувчининг тезлигига боғлиқ бўлмайди (масалан, буғни конденсацияланиш тезлиги конденсатни иссиқлик алмашиниш юзасидан ўзатишни тўғри ташкил этишга боғлиқ бўлади), шу сабабдан ҳар бир конкрет шароит учун тегишли конструкцияга эга бўлган қурилма танлаш керак.

### **Трубаги иссиқлик алмашгичлар**

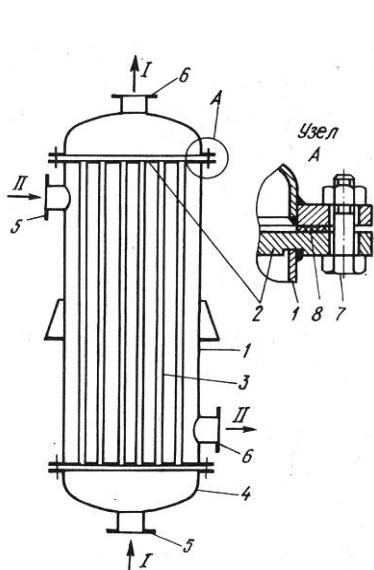
Олдинги параграфда айтиб ўтилганидек, қобиқ-трубаги қурилмалар энг кўп тарқалган иссиқлик алмашиниш қурилмалари ҳисобланади. Давлат стандартларига асосан қобиқ-трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари пўлатдан қуйидаги типлар бўйича тайёрланади: Н – қўзғалмас труба турлари билан; К – ҳарорат юқори бўлганда қобиқ ва трубаларнинг турлича узайишини ҳисобга олувчи ва қобиқда жойлашган компенсатор билан; П – ҳаракатчан қалпоқчали; У - симон трубаги; ПК – ҳаракатчан қалпоқчали ва ундаги компенсатор билан.

Мисли қобиқ-трубаги қурилмалар стандартга асосан икки турда (Н ва К) тайёрланади. Мақсадга кўра қобиқ-трубаги қурилмалар иссиқлик алмашгич, совиткич, конденсатор ва буғлаткич сифатида ишлатилиши мумкин, улар бир ва кўп йўлли қилиб тайёрланади.

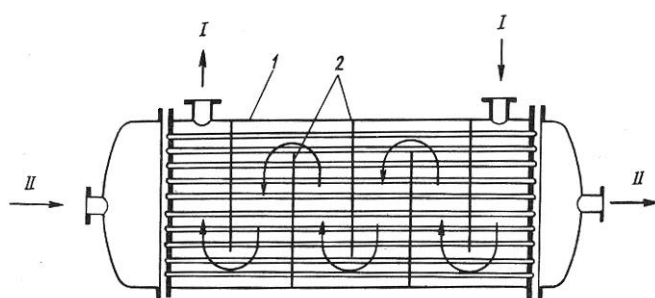
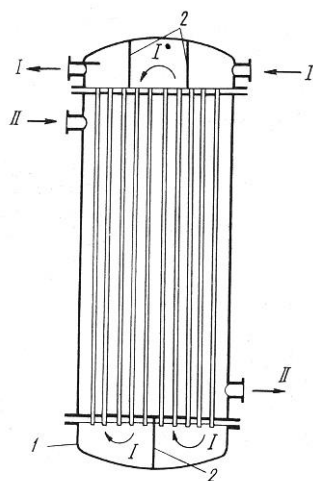
Бир йўналишли қобиқ-трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмасида иссиқлик иситилувчи газ ёки суюқлик қопқоқдаги патрубкга орқали битта трубадан кириб, ўша трубадан чиқиб кетади (16.1 - расм). Кўпинча бу типдаги иситкичларда иситилаётган ва иссиқлик бераётган муҳит бир-бирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Иситувчи агент доим иситгичнинг юқориги қисмидан, иситилаётган муҳит эса қурилманинг пастки қисмида трубалар ичига

берилади. Юқориги ва пастки қопқоқларга иситилаётган ёки совитилаётган агентлари бериш учун штуцер мўлжалланган. Трубалар тўрига развальцовка, пайвандлаш, кавшарлаш ва бошқа усуллар ёрдамида бириктириш мумкин. Иссиқлик ташувчи агентнинг биринчиси трубанинг ичидан, иккинчиси эса труба ва қурилманинг ички девори оралиғидаги бўшлиқдан ўтади.

Масалан, буғ иссиқлигини бериб совиш натижасида унинг зичлиги ошиб, пастга қараб ҳаракатланади. Бундан ташқари муҳитнинг бир йўналишида уларнинг тезлиги бир хил тақсимланиб, қурилманинг кўндаланг кесимида иссиқлик алмашилиш ўзгармас бўлади.



16.1 – расм. Бир йўлли қобик трубади вертикал иссиқлик алмашилиш қурилмаси.



16.2 – расм. Кўп йўлли қобик трубади горизонтал иссиқлик алмашилиш қурилмаси.

Агар муҳитнинг йўналиши аксинча бўлса, яъни иситувчи агент қурилманинг пастки қисмидан трубалар ва қобик оралиғидаги бўшлиққа ва иситилаётган муҳит иситкичнинг юқориги қисмидаги трубаларга берилса, у ҳолда буғ иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб юқорига кўтарилмайди. Натижада пастки трубалар билан қобик орасидаги бўшлиққа конденсат тўпланиб, буғнинг бу бўшлиқ орасидан ўтиши қийинлашади ва иссиқлик алмашилиш жараёнининг тезлиги камаяди.

Бу иссиқлик алмашигичларда суюқликнинг сарфи кам бўлганда уларнинг трубадаги тезлиги кичик бўлиб, иссиқлик алмашилиш тезлигини ошириш учун кўп йўлли иситкичлар ишлатилади (16.2 - расм).

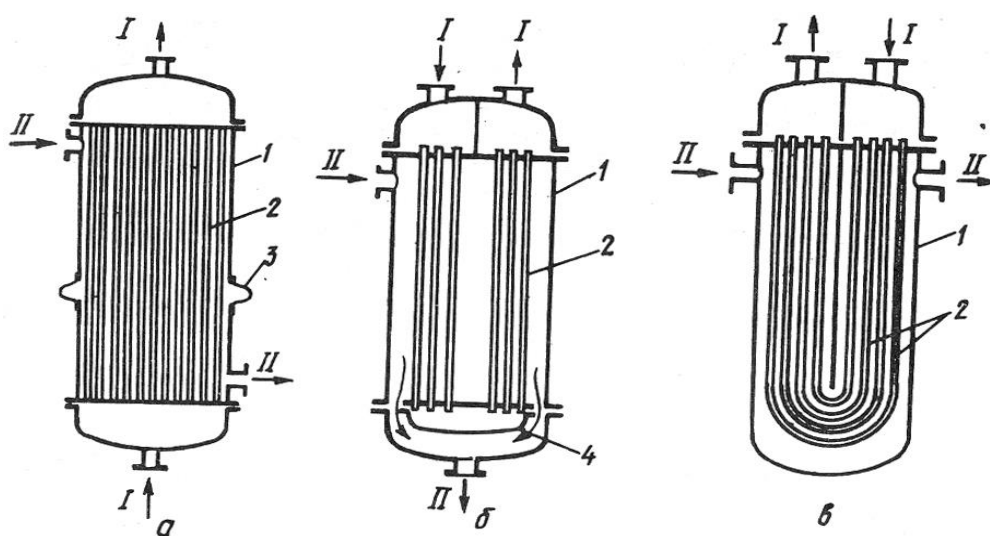
**Линза компенсаторли иссиқлик алмашилиш қурилмаси.** Ушбу турдаги қурилмалар суюқликлар температура фарқи  $50^{\circ}\text{C}$  дан катта бўлганда ишлатилади. Линзали компенсаторлар температура деформациясини бартараф қилади. Бу турдаги қурилмалар труба ва трубалараро бўшлиқлари босимлар  $P \leq 6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  бўлганда ишлатилади (16.3 а-расм).

Линзали компенсатор иссиқлик алмашилиш қурилмалар қобикига

пайвандлаб қўйилади ва у эластик деформация остида сиқилади ёки узаяди. Бундай қурилмалар тузилиши содда ва ихчам. Ундан ташқари, вертикал қилиб ясалган линза компенсаторли қурилмалар кўп жой эгалламайди.

**U-симон трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмаси.** Бундай қурилмаларда битта тешикли труба панжараси бўлиб, U-симон трубагинг иккала учи унга маҳкамланади. Шунини алоҳида айтиш керакки, трубагагинг ўзи компенсацияловчи мослама функциясини бажаради (16.3б-расм). Қурилма тузилиши содда ва трубагагинг ташқи юзасини тозалаш осон. Ундан ташқари, икки ва ундан ортиқ йўлли бўлгани учун иссиқлик алмашиниш жараёни интенсив бўлади. Трубагагинг ички юзасини тозалаш қийин ва тешикли панжарада кўп миқдорда трубага жойлаштириш мураккаб.

**Ҳаракатчан қалпоқчали иссиқлик алмашиниш қурилмаси.** Труба ва қобикнинг катта силжишини таъминлаш зарур бўлган ҳолларда ҳаракатчан қалпоқчали иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан фойдаланилади (16.3в-расм).



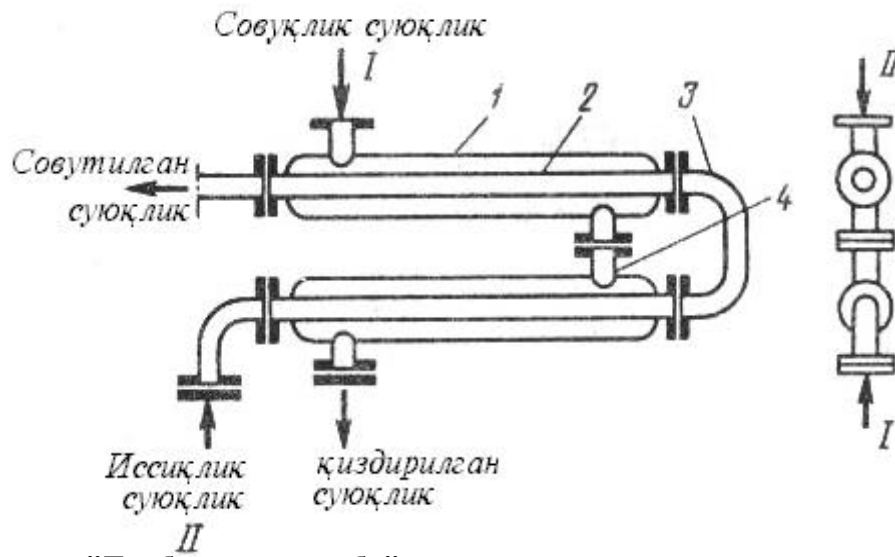
**16.3-расм. Қобик-трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари:** а) линзасимон компенсаторли; б) ҳаракатчан қалпоқчали; в) U- шаклдаги трубаги; I – сууюқликнинг ҳаракат йўналиши; II- қиздирувчи агентнинг ҳаракат йўналиши; 1- қобик; 2- иссиқлик ўтказувчи трубага; 3- линзасимон компенсатор; 4- ҳаракатчан қопқоқ.

**“Труба ичида труба” иссиқлик алмашиниш қурилмалари.** Бундай қурилмалар бир неча элементлардан тузилган (16.4-расм). Ҳар бир элемент катта диаметрли ташқи труба ва концентрик ҳолда жойлашган ички трубадан иборат. Ички трубадан иситилаётган муҳит ҳаракатланса, трубагага бўшлиқдан эса совитилаётган агент ҳаракатланади. Бу қурилмалар йиғма ёки нойиғма ҳолида бир ёки кўп оқимли қилиб тайёрланади.

Ҳар бир элемент катта диаметрли ташқи труба 1 (одатда 25...159 мм) ва концентрик жойлаштирилган ички труба 2 (одатда 57...219 мм) лардан ташкил топган. Совуқлик элткич I труба ичида ҳаракатланса, иссиқлик элткич II трубагага бўшлиқда ҳаракатланади. Иссиқлик алмашиниш ички трубагагинг девори орқали амалга ошади.

Ушбу қурилмаларнинг труба ва трубагага бўшлиқда юқори тезликларга (3,0 м/с гача) эришса бўлади. Агар, катта юзалар зарур бўлса, бир

неча секциялардан батарея ҳосил қилиш осон ва мумкин.



16.4-расм. "Труба ичида труба" типдаги алмашиниш қурилмаси.

1 – ташқи труба; 2 - ички труба; 3 - калач; 4 – патрубк.

I, II – иссиқлик элткичлар.

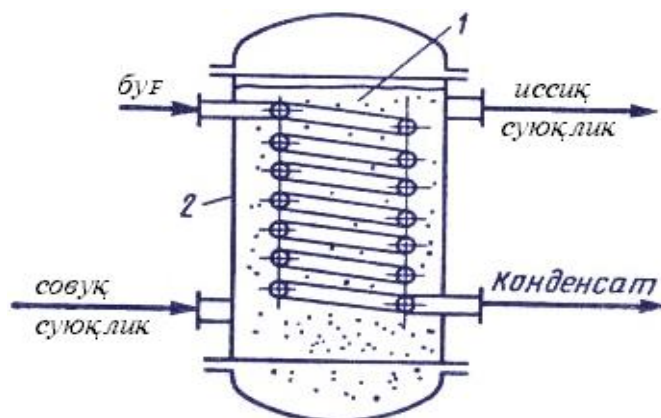
Бу турдаги қурилмаларда суюқликлар сарфи катта ва «суюқлик – суюқлик», «суюқлик – буғ» системаларида иссиқлик алмашиниш учун қўлланилади.

Бу тўрдаги иситгичлар юқори босимда ва иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфланиш миқдори кам бўлганда ҳам ишлайди.

Уларнинг афзаллиги: тузилиши ва ясалиши содда, иссиқлик ташувчи агентлар катта тезликка эга бўлганлиги учун иссиқлик ўтказиш коэффициентининг қиймати ҳам катта, қурилмаларни тайёрлаш осон.

Камчиликлари: кўпол; металл сарфи кўп, ўлчамлари катта, иссиқлик алмашинишда катнашмайдиган ташқи трубаларга кўп металл сарфланганлиги учун қурилманинг қиймати катта, трубалар ўртасидаги бўшлиқни тозалаш қийин.

**Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.** Змеевик шаклида эгилган труба цилиндрик қобикли идишга ўрнатилган бўлади (16.5-расм). Цилиндрик қобикли идиш 2 иситилиши зарур бўлган суюқлик билан



16.5-расм. Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 - змеевик; 2 - қобик.

тўлдирилади. Бундай қурилмалар 15-75 мм ли трубалардан тайёрланган спиралсимон змеевиклар суюқлик билан тўлдирилган идишда ўрнатилади. Уларнинг диаметри идишнинг ўлчамига кўра 300-2000 мм га тенг бўлиши мумкин.

Змеевик трубаларда ҳаракатланаётган буғ босими 0,2-0,5 МПа гача бўлганда змеевик узунлигининг труба диаметрига нисбати 200-275 бўлиши керак.

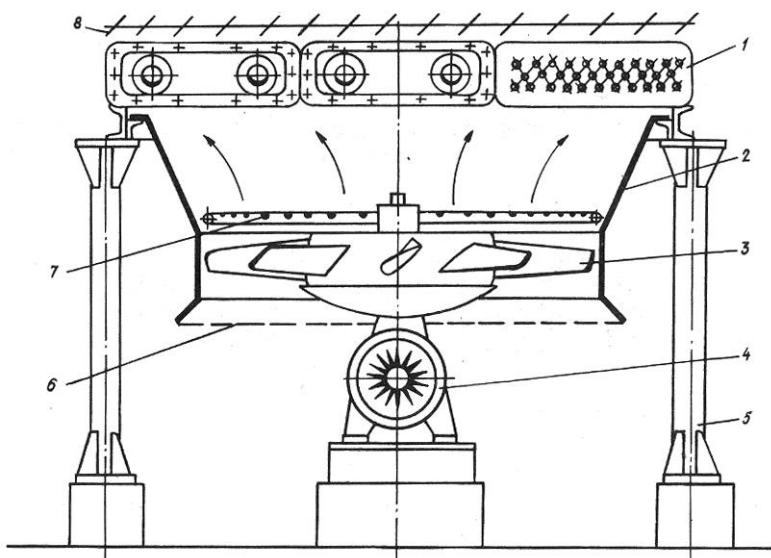
Цилиндрик идишнинг ҳажми катта бўлгани учун, суюқликнинг тезлиги кичик, яъни иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати паст бўлади. Иссиқлик элткич одатда змеевик ичига юборилади. Бу турдаги қурилмалар кам миқдордаги суюқликларни иситиш учун мўлжалланган.

Змеевикли иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг афзалликлари: тузилиши содда, тайёрлаш осон, нархи арзон, тозалаш ва таъмирлаш осон; юқори босим (0,2...0,5 МПа ) қўллаш мумкин, кимёвий фаол суюқликларни иситиш ҳам мумкин, иситиш юзаси 10...15 м<sup>2</sup>, суюқлик ҳажми катталиги учун ишчи режимлар ўзгариши жараёнга сезиларли таъсир этмайди.

Камчиликлари: ўлчами катта, идишдаги суюқликнинг тезлиги кам бўлганлиги учун змеевикнинг ташқарисидаги иссиқлик бериш коэффициенти кичик, трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин,  $l/d \geq 200...275$  бўлса, змеевик пастида конденсат йиғилади, иссиқлик алмашилиш ёмонлашади ва гидравлик қаршилик ортиб кетади.

### Ҳаво билан совитиладиган қурилмалар

Кимё, айниқса нефть кимёси саноатида иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг кўпчилик қисмини конденсатор ва совиткичлар ташкил этади. Турли маҳсулотларни конденсатлаш ва совитиш учун сув билан совитиладиган қурилмалардан, қобиқ-трубали ёки намланувчи иссиқлик алмашгичлардан фойдаланиш кўп миқдордаги сувнинг сарфи билан боғлиқ бўлади, оқибатда қурилмани ишлатиш билан боғлиқ бўлган сарфлар кўпаяди. Ҳаво ёрдамида совитиладиган қурилмалардан совиткичлар - конденсаторлар



сифатида фойдаланиш бир қатор афзалликларга эга: 1) сувни тайёрлаш ва узатиш билан боғлиқ бўлган сарфларга эҳтиёж қолмайди; 2) таъмирлаш ишлари анча осонлашади, нархи эса камаяди; 3) трубаларнинг ҳаво айланиб ўтадиган ташқи юзасини махсус тозалашга эҳтиёж қолмайди; 4) совитиш жараёни бошқариш осонлашади ва хоказо.

16.6 – расм. Ҳаво билан совитиладиган горизонтал қурилма.

16.6 – расмда ҳаво билан совитиладиган горизонтал қурилмани кўриб чиқамиз. Каркаснинг устига бир неча иссиқлик алмашилиш секциялари (труба ўрамлари) жойлаштирилган. Трубаларнинг ички қисмидан конденсатлаш (ёки совитиш) зарур бўлган суюқлик ўтказилади. Вентилятор орқали ҳаво ҳайдалади.

Вентилятор электродвигатель билан алоҳида рамага ўрнатилган. Вентилятор устига сувни сочиб берадиган коллектор (ёки форсункалар) жойлаштирилган. Труба ўрамнинг юқориги қисмида қия қилиб жойлаштирилган тўсиқлар бор. Вентиляторнинг тагида эса ҳимоя қилувчи тўр ўрнатилган. Вентилятор билан ҳайдаладиган ҳаво иссиқлик алмашилиш секцияларига кириб, қиррали трубаларнинг ташқи юзасини айланиб ўтади; бунда трубаларнинг ичидан ҳаракатланаётган муҳит совийди ёки конденсатланади.

Ёзда, яъни атроф-муҳитнинг ҳарорати юқори бўлганда сувни сочиб берувчи форсункалар автоматик равишда ишга тушади. Ташқи ҳарорат паст бўлганда (қишда) электродвигатель ёки вентиляторни ўчириб қўйиш мумкин; бунда конденсатлаш ёки совитиш табиий конвекция таъсирида юз беради.

Бундан ташқари иссиқлик алмашилиш тезлигини ҳайдалаётган ҳавонинг сарфини ўзгартириш орқали ҳам бошқариш мумкин. Бунинг учун вентилятор парракларнинг эгилиш бурчаги ёки труба ўрамнинг устида жойлашган тўсиқчаларнинг қиялик бурчагини ўзгартириш орқали эришилади.

Қиш пайтида конденсацияланаётган маҳсулотнинг ўта совиб кетиш хавфи бор. Бунинг олдини олиш учун иссиқлик алмашилиш секцияларининг тагига қиррали трубалардан қилинган змеевикли иситкич ўрнатиш ҳам мумкин.

Трубаларнинг ташқи юзасидаги ҳавонинг иссиқлик бериш коэффиценти ички юзаларга иссиқлик бериш коэффицентиغا нисбатан тахминан 10 мартаба кичик бўлганлиги учун, трубаларнинг ташқи юзаси қиррали қилиб тайёрланади. Трубаларни қиррали қилиб тайёрлаш коэффиценти, яъни қиррали трубанинг ташқи юзасини бир хил диаметрдаги текис труба юзасига нисбати 10 дан 20 гача ўзгариши мумкин.

Ҳаво билан совитиладиган қурилмаларда иш ғилдирагининг диаметри 7 м гача бўлган вентилятор қўлланилади. Вентиляторнинг ғилдираклари пайвандланган алюминий ёки стеклопластдан, диффузор эса қалинлиги 2 мм бўлган листли пўлатдан тайёрланади.

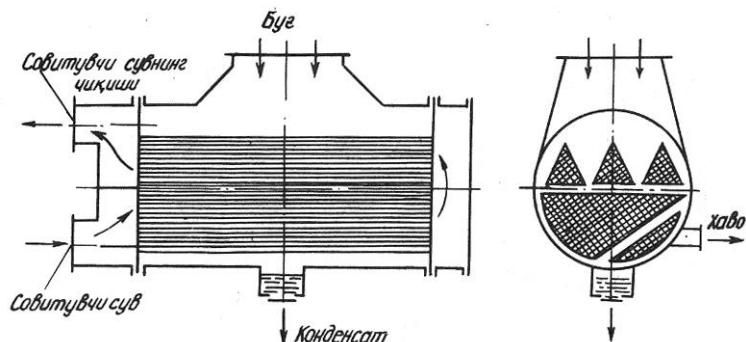
Буғ ёки газнинг суюқ ҳолатга ўтиш жараёни **конденсациялаш** дейилади. Кимё ва озиқ-овқат саноатида конденсациялаш жараёни кенг тарқалган. Конденсациялаш жараёни олиб бориладиган қурилмалар **конденсаторлар** дейилади. Сув, айрим ҳолларда ҳаво ва бошқа совитувчи элтгичлар совитувчи агент ҳисобланади.

Конденсаторлар **юзали** ва **аралаштирувчи** бўлади. Юзали конденсаторларда конденсацияланаётган буғ ва совитувчи сув ўзаро иссиқлик ўтказувчи девор орқали ажратилган бўлади. Аралаштирувчи конденсаторларда эса буғ сув билан тўғридан-тўғри аралаштириш натижасида конденсациялашга учрайди.

**Юзали конденсаторлар** тузилишига кўра юзали иссиқлик алмашилиш қурилмаларига ўхшайди. Кўпинча конденсация учун қобиқ труба, “труба ичида труба” туридаги, намланувчи иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилади. 16.7 – расмда горизонтал қобиқ труба конденсатор кўрсатилган. Конденсаторда тўйинган буғ бир ҳароратда конденсацияланади. Бунда буғ яширинган буғлатиш иссиқлигини беради. Конденсатнинг ҳароратини  $t_k$  деб олсак, у ҳолда  $(t_t - t_k)$  конденсатнинг совитиш даражасини белгилайди.



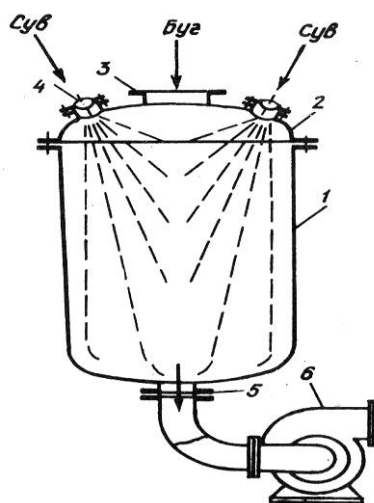
Конденсатнинг совиш даражаси деворнинг ҳароратига, иссиқлик алмашилиш юзасининг жойлашувига, буғдаги ҳаво ва конденсациялашга учрамайдиган газларнинг миқдорига, буғнинг сарфига ва бошқа катталикларга боғлиқ.



16.7 – расм. Горизонтал қобиқ трубади конденсатор.

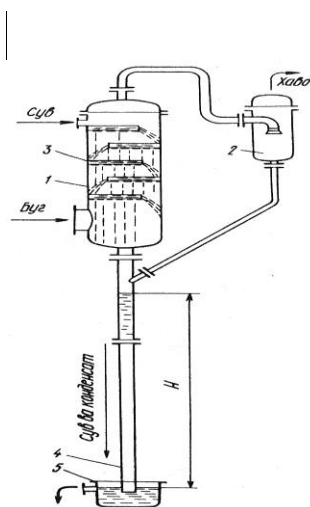
**Аралаштирувчи конденсаторлар** вакуум остида ишлайдиган турли қурилмаларда сийракланиш ҳосил қилиш учун ишлатилади. Булардаги вакуумни кўпайтириш учун совитувчи сувнинг ҳароратини камайтириш ва конденсатордан газларни ташқарига чиқариш зарур.

Буғ ва сувнинг ўзаро ҳаракатига кўра аралаштирувчи конденсаторлар қарама - қарши ва тўғри йўналишли бўлади. 16.8 – расмда нам тўғри йўналишли аралаштирувчи конденсатор кўрсатилган. Бу конденсатор буғни сув ёрдамида конденсациялаш учун мўлжалланган. Конденсаторга совитувчи сув соплоси 4 орқали сочиб берилади, патрука 3 орқали конденсацияланиши лозим бўлган буғ берилади. Сувни пуркаш натижасида сув ва буғ орасидаги иссиқлик алмашилиш юзаси сезиларли даражада ошади. Буғни сув билан ўзаро таъсири буғни конденсацияланишига олиб келади. Конденсатор ичидан конденсат, сув ва конденсацияланмаган газлар патрубок 5 орқали махсус насос 6 ёрдамида сўриб ташқарига чиқарилади.



16.8 – расм. Тўғри йўналишли конденсатор.

1 - конденсатор; 2 – томчи ушлагич;  
3 - тарелка; 4 - барометрик труба; 5 – йиғгич.



16.9-расм. Барометрик аралаштирувчи конденсатор.

16.9 – расмда қарама - қарши йўналишли барометрик конденсатор кўрсатилган. Конденсаторда буғ ва совутувчи сувнинг ўзаро таъсири қарама - қарши йўналишда ўтади. Совутувчи сув конденсаторнинг юқори қисмидаги тешикли тарелкаси 3 га юборилса, буғ эса - пастдаги тарелка остига. Сув тарелкадан тарелкага тешиклари ва четидан ингичка оқимча кўринишида оқиб ўтади. Сув билан суюқликнинг ўзаро таъсири конденсаторнинг тарелкалараро бўшлиғида юз беради. Ҳосил бўлган конденсат барометрик труба 4 орқали совутувчи сув билан йиғич 5 га туширилади.

Ҳаво эса, ушлағич орқали вакуум - насос ёрдамида сўриб олинади. Шунинг учун ҳам бу турдаги конденсаторларни **барометрик конденсатор** деб аталади.

Барометрик конденсаторда конденсациялаш жараёни вакуум остида олиб борилади. Қурилмадаги абсолют босим 0,01...0,02 МПа бўлади.

Атмосфера ва барометрик конденсаторларда босимлар фарқини тенг ҳолатда ушлаб туриш барометрик труба 4 даги суюқлик устуни Н хизмат қилади.

### **Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ҳисоби**

#### **Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини иссиқлик ҳисоби**

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини лойихалаш учун турли ҳисоблаш ишлари бажарилади. Ҳисоблаш уч қисмдан иборат бўлади: а) иссиқлик ҳисоби; б) конструктив ҳисоблаш; в) гидравлик ҳисоби.

Қурилмаларнинг иссиқлик ҳисобидан асосий мақсад, зарур бўлган иссиқлик алмашиниш юзаси  $F$  ни топишдир. Бундай иссиқлик ҳисоби натижасида қуйидагилар аниқланади: 1) ўртача ҳароратлар фарқи ва иш муҳитининг ўртача ҳароратлари; 2) иссиқлик миқдори ва иш жисмларининг сарфи; 3) иссиқлик ўтказиш коэффициенти; 4) иситиш юзаси.

Иссиқлик ҳисоби конструктив ва гидравлик ҳисоблаш билан узлуксиз боғлиқликда олиб борилади. Ҳисоблаш учун қуйидаги бошланғич маълумотлар берилган бўлиши керак:

- 1) иситилаётган эритманинг миқдори,  $G$  кг/с;
- 2) эритманинг концентрацияси,  $c$  %;
- 3) эритманинг бошланғич ва охириги ҳарорати,  $t_6, t_0$ ;
- 4) иситгичнинг тури – вертикал, горизонтал, йўллар сони;
- 5) иситувчи буғнинг босими,  $P$  Па ёки ҳарорати,  $t^0C$ ;
- 6) пўлат трубаларнинг ички ва ташқи диаметри,  $d_{и}$  ва  $d_{т}$ , мм;
- 7) трубаларнинг узунлиги,  $l$  м;
- 8) эритманинг ҳаракат тезлиги,  $w$  м/с;
- 9) иситиш юзасидан фойдаланиш коэффициенти,  $\phi$ .

**Иситгичнинг ҳарорат шартларини аниқлаш.** Тўйинган буғ босими  $P$  га кўра унинг тўйиниш ҳарорати махсус қўлланмалардан топилади. Иситишнинг бошланишида ҳароратларни максимал (ёки катта) фарқи:

$$\Delta t_{\max} = t_{т} - t_{6} = \Delta t_{ка} \quad (16.1)$$

Иситишнинг охиридаги муҳит ҳароратларининг минимал (ёки кичик) фарқи:

$$\Delta t_{\min} = t_r - t_o = \Delta t_{\text{ки}} \quad (16.2)$$

Агар  $\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min} > 2$  бўлса, ўртача ҳароратлар фарқи қуйидаги формуладан топилади:

$$\Delta t_{\text{yp}} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (16.3)$$

Агар  $\Delta t_{\max} / \Delta t_{\min} < 2$  бўлса, ўртача ҳароратлар фарқи қуйидаги формуладан топилади:

$$\Delta t_{\text{yp}} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2} \quad (16.4)$$

Иситилаётган муҳитнинг ўртача ҳарорати:

$$t = t_r - \Delta t_{\text{yp}} \quad (16.5)$$

**Иситилаётган эритманинг физик катталикларини топиш.** Ўртача ҳарорат ва концентрация бўйича махсус қўлланмалардаги жадвалларда берилган иссиқлик ташувчи агентларнинг физик миқдори топилади:

- 1) қовушқоқлик  $\mu$ , Па с ёки  $\nu$ , м<sup>2</sup>/с;
- 2) зичлик  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- 3) иссиқлик сиғими  $C$ , Ж/(кг К);
- 4) иссиқлик ўтказувчанлик  $\lambda$ , Вт/(м К);
- 5) ҳарорат ўтказувчанлик  $a$ , м<sup>2</sup>/с;
- 6) Прандтл сони  $Pr$  аниқланади.

**Иссиқлик миқдори, буғ ва сув сарфларини аниқлаш.** Суюқликни иситиш учун кетган иссиқлик миқдори қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Q = H \cdot G \cdot c \cdot (t_0 - t_6) \quad (16.6)$$

бу ерда  $H = 1,02-1,05$  иссиқликнинг йўқотилишини ҳисобга олувчи коэффициент;  $G$  – суюқлик сарфи, кг/с;  $C$  – иссиқлик сиғими, Ж/(кг К);  $t_0$  - суюқликнинг охириги ҳарорати, °С;  $t_6$  - суюқликнинг бошланғич ҳарорати, °С.

Совитувчи модданинг миқдори қуйидагича аниқланади:

$$G = \frac{G \cdot c \cdot (t_0 - t_6)}{c' (t_0' - t_6')} \quad \text{кг/с} \quad (16.7)$$

бу ерда  $c'$  - совитувчи модданинг иссиқлик сиғими;  $t_0'$   $t_6'$  - совитувчи модданинг бошланғич ва охириги ҳарорати.

Буғ сарфи қуйидагича топилади:

$$D = \frac{Q}{i - \theta} \quad \text{кг/с} \quad (16.8)$$

бу ерда  $i$  – иситувчи буғнинг энталпияси,  $\theta$  – конденсатнинг энталпияси, Ж/кг.

$$\theta = t_T - (2 \div 5^\circ \text{C}) \quad (16.9)$$

$i$  - махсус қўлланмаларда берилган буғ босими  $P$  бўйича олинади.

**Иссиқлик ўтказиш коэффициентини аниқлаш.** Бир ва кўп қаватли текис юзалар учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) куйидаги тенглама орқали топилади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_d + \frac{1}{\alpha_2}}$$

бу ерда  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  – Иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчилар учун иссиқлик бериш коэффициентлари, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\sum r_d$  – девор қатламининг умумий термик қаршилиги, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

Иссиқлик бериш коэффициентлари  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  критериал тенгламалар ёрдамида топилади. Баландлиги  $H$  бўлган вертикал трубалар учун  $\alpha_1$  куйидаги тенгламадан топилади:

$$\alpha = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r_g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (16.11)$$

Деворлардан иситилаётган муҳитга иссиқлик бериш коэффициенти ҳаракат режимига кўра ҳар хил критериал тенгламалар ёрдамида топилади. Агар турбулент режимда  $Re > 10000$  бўлса,

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (16.12)$$

Агар  $2300 > Re > 10\,000$  бўлса,

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43} \quad (16.13)$$

Агар ломинар режимда  $Re < 2300$  бўлса,

$$Nu = 0,17 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \quad (16.14)$$

Сўнгра  $\alpha$  нинг қиймати топилади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (16.15)$$

Иситкичнинг иситиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг умумий тенгламасидан топилади:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{yp}} \cdot m^2 \quad (16.16)$$

Бу юза қабул қилинган иситкичнинг схемаси трубаларнинг диаметри ва узунлигига кўра жойлаштирилади. Иситиш юзасини жойлаштириш иситкичнинг конструктив ҳисобини ташкил этади.

### **Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини конструктив ҳисоблаш**

Конструктив ҳисоблашнинг умумий мақсади иссиқлик алмашиниш қурилмасининг асосий ўлчамларини топишдан иборат. Бунда қуйидагилар аниқланади: қурилма трубади қисмининг ўлчамлари, трубаларнинг сони, тўрда трубаларнинг жойлашуви, қурилманинг диаметри, қурилманинг баландлиги, патрубкларнинг диаметри.

**Қурилма трубади қисмининг ўлчамларини аниқлаш.** Битта йўлдаги трубаларнинг кўнгалданг кесимини топамиз:

$$f_T = \frac{G}{\rho v} \quad (16.17)$$

бу ерда  $G$  – суюқликнинг сарфи, кг/с;  $\rho$  - суюқликнинг зичлиги, кг/м<sup>3</sup>;  $v$  - суюқликнинг тезлиги, м/с.

Битта йўлдаги трубалар сони:

$$n_1 = \frac{f_T}{0,785 \cdot d_u^2} \quad (16.18)$$

$d_u$  – трубадинг ички диаметри, м.

Ҳамма йўлдаги трубаларнинг узунлиги:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_x \cdot n_1} \quad (15.19)$$

бу ерда  $F$  – иситкичнинг иситиш юзаси, м<sup>2</sup>;

$d_x$  – трубаларнинг ҳисобий диаметри, м;  $d_x$  нинг қиймати  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  нинг нисбатларига боғлиқ. Агар  $\alpha_1 \approx \alpha_2$  бўлса,  $d_x = 0,5 (d_u + d_T)$ ,  $\alpha_1 \gg \alpha_2$  бўлса,  $d_x = d_T$ ,  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  бўлса,  $d_x = d_u$ .

Йўллар сони:

$$Z = \frac{L}{l} \quad (16.20)$$

бу ерда  $l$  – трубаларнинг қабул қилинган узунлиги ( $l = 1 \div 3$  м).

Тўрда жойлашган трубаларнинг умумий сони:

$$N = Zn_1 \quad (16.21)$$

**Трубаларнинг тўрда жойлашуви.** Трубалар тўрда уч хил усул билан жойлаштирилиши мумкин: тўғри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб; квадратларнинг томонлари бўйлаб; концентрик айланалар бўйлаб. Кўпинча биринчи усулдан фойдаланилади. Бунда тўрдаги трубаларнинг сони қуйидагича аниқланади:

$$n = 3a(a-1) + 1 = \frac{3}{4}(b^2 - 1) + 1 \quad (16.22)$$

$a$  – катта олтибурчакликнинг битта томонида жойлашган трубалар сони.

Трубалар бу усул билан тўрда жойлаштирилганда турнинг бир қисми фойдаланилмай қолади. Шу сабабли агар  $a > b$  бўлса, умумий трубалар сонига нисбатан яна 10-18% миқдорда трубалар жойлаштира бўлади. Шундай қилиб трубаларнинг умумий сони:

$$n_{\text{ум}} = (1,1 + 1,18) n \quad (16.23)$$

Трубаларни қўшиш трубалар марказлари ўртасидаги масофа қадами ва уларни бириктириш усулларига кўра ҳар хил бўлади.

**Қурилманинг ички диаметрини аниқлаш.** Иссиқлик алмашиниш қурилмасини ҳарактерлайдиган асосий катталиклардан бири унинг ички диаметридир. Масалан, қобик – трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмасининг ички диаметри қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$D = S ( b - 1 ) + 4 d_r \quad (16.24)$$

**Қурилманинг тўла баландлигини топиш.** Иссиқлик алмашиниш қурилмасининг баландлиги (ёки узунлиги) қуйидаги тенглама билан топилади:

$$H = l + 2\delta + 2h \quad (16.25)$$

бу ерда  $l$  - трубаларнинг узунлиги, м;  $\delta$  - турнинг қалинлиги, м;  $h$  - камеранинг баландлиги, м.

**Патрубканинг диаметрини топиш.** Патрубканинг ички диаметри берилган муҳитнинг сарфига ва ҳаракат тезлигига қараб аниқланади:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \omega}} \quad (16.26)$$

бу ерда  $V_c$  – муҳитнинг сарфланиш миқдори, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  - муҳитнинг ҳаракат тезлиги, м/с.

Ҳисоблаш учун қуйидаги тезлик кийматларидан фойдаланиш мумкин: Суюқликлар учун  $\omega = 1 - 3$  м/с; газлар учун  $\omega = 9 - 25$  м/с; Тўйинган сув буғи учун  $\omega = 20 - 30$  м/с; қиздирилган сув буғи учун  $\omega = 30 - 50$  м/с.

Змеевикли иссиқлик алмашиниш қурилмаларини конструктив ҳисоблашдан мақсад трубаларнинг умумий узунлигини, ўрамларнинг сонини ва змеевикнинг баландлигини аниқлашдир.

### Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг гидравлик ҳисоби

Гидравлик ҳисоблашдан асосий мақсад иссиқлик алмашиниш қурилмаларидаги ишқаланиш ҳамда маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун кетган босимни аниқлаб, умумий напорни ва иш муҳитини қурилмадан ўтказиш учун керак бўлган кувватни топишдан иборат.

Қурилманинг гидравлик қаршилигини аниқлаш учун трубулараро ва трубалар ҳаракат қилаётган муҳитларнинг қаршилигини билиш керак. Трубалараро (яъни трубалар ва қурилма девори орасида) ҳаракат қилаётган муҳитнинг қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (16.27)$$

бу ерда  $\omega$  - трубалараро ҳаракат қилаётган муҳитнинг ҳаракат тезлиги;  $\rho$  - ўртача ҳароратда муҳитнинг зичлиги;  $\xi$  - трубалар орасидаги қаршилиқ коэффициентлари.

Трубаларнинг гидравлик қаршилиги трубадаги ишқаланиш қаршилиқларини енгиш учун йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{й}}$  ва маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун йўқотилган босим  $\Delta P_{\text{МК}}$  йиғиндисига тенг:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{й}} + \Delta P_{\text{МК}} \quad (16.28)$$

Тўғри каналларда ишқаланишни енгиш учун йўқотилган босим қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{d_s} \cdot \frac{\omega^2 \rho}{2} \quad (16.29)$$

бу ерда  $\lambda$  - ишқаланиш коэффициентлари;  $d_s$  - каналларнинг эквивалент диаметри;  $\omega$  - иш муҳитининг каналлардаги тезлиги;  $\rho$  - муҳитнинг зичлиги;  $l$  – каналларнинг узунлиги.

Маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун йўқотилган босим қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P_{\text{МК}} = \sum \xi \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (16.30)$$

Шундай қилиб, трубалардаги муҳит учун тўла гидравлик қаршилиқ қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\Delta P = \left( \lambda \frac{L}{d_s} + \sum \xi \right) \frac{\rho \omega^2}{2} \quad (16.31)$$

Маҳаллий қаршиликлар коэффиценти кўпинча тажрибалар йўли билан топилади. Қурилмаларни ҳисоблашда уларнинг қиймати махсус қўлланмалардаги жадвалдан олинади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини лойиҳалашда иссиқлик, конструктив ва гидравлик ҳисоблашлардан сўнг механик ҳисоблашлар амалга оширилади.

Қурилмаларни механик ҳисоблаш йўллари тегишли адабиётларда берилган, шу сабабли бу усул устида тўхталмаймиз.

### Назорат саволлари

1. Саноатда қайси турдаги қурилмалар кенг тарқалган?
  2. Нима учун саноатда кўпроқ қобиқ-трубали иссиқлик алмашгичлар ишлатилади?
  3. Трубали иссиқлик алмашгичнинг бошқа қандай турлари мавжуд?
  4. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашгичларнинг афзалликлари нимада?
  5. Қандай совитиш қурилмаларини биласиз?
  6. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини танлашда қандай умумий қонуниятларга амал қилиш керак?
  7. Ҳаво билан совитиладиган қурилмалар ишлаш принципи қандай?
  8. Қиш пайтида конденсацияланган маҳсулотни ўта совиб кетишини олдини олиш учун нима қилиш керак?
  9. Конденсацияланиш жараёни деб нимага айтилади?
  10. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмаштиргичларни афзаллиги ва камчилигини айтинг?
- Лойиҳалаш учун қандай ҳисоблар бажарилади.
2. Ҳисоблаш учун қандай маълумотлар берилади.
  3. Иссиқлик миқдори қандай тенгламадан топилади.
  4. Конструктив ҳисоблашнинг мақсади нима?
  5. Гидравлик ҳисоблашдан мақсад нима?
  6. Иситилаётган муҳитнинг ўртача ҳароратини тенгламасини ёзинг?
  7. Совитувчи содда миқдори қандай аниқланади?
  8. Буғ сарфи қандай аниқланади?
  9. Трубали иссиқлик алмашилиш қурилмасини ички диаметри қандай топилади?
  10. Трубканинг диаметри қандай топилади?



**17-Маъруза**  
**Мавзу: Буғлатиш**  
**Режа:**

- 1. Буғлатиш жараёни. Бир корпусли буғлатиш аппарати.**
- 2. Моддий ва иссиқлик баланси.**
- 3. Буғ сарфи, иситиш юзаси ва фойдали температуралар фарқи.**

*Таянч сўзлар ва иборалар:* буғлатиш, бирламчи буғ, иккиламчи буғ, экстра буғ, марказий циркуляцияли, турлари, марказий циркуляцион трубали, ташқи циркуляцион трубали, ажратилган иситгичли, мажбурий циркуляцияли, пленкали, барботажли.

**Буғлатиш жараёни. Бир корпусли буғлатиш аппарати**

Учувчан бўлмаган моддалар эритмаларини унинг таркибидаги эритувчини қайнатиш пайтида чиқариб юбориш йўли билан қуюқлаштириш жараёни **буғлатиш** деб юритилади. Агар буғланиш жараёни қайнаш ҳароратидан паст ҳароратда суюқликнинг юзасида руй берса, буғлатиш жараёнида эса буғ эритманинг ҳажмида ажралиб чиқади.

Кимё саноатида ишқор, туз ва бошқа моддаларнинг сувли эритмаларида, айрим минерал ва органик кислоталар, кўп атомли спиртлар ҳамда шу каби суюқ эритмалар буғлатилади. Баъзан буғлатиш ёрдамида тоза эритувчилар ҳам олинади. Айрим шароитларда қуюқлаштирилган эритма кристалланиш жараёнини амалга ошириш учун махсус буғлатиш қурилмаларга юборилади.

Қуюқлаштирилган эритмалар ва буғлатиш натижасида ҳосил бўлган қаттиқ моддаларни осон ҳамда арзон қайта ишлаш ва сақлаш ва бошқа жойларга жўнатиш мумкин.

Буғлатиш жараёнида иситувчи агент сифатида асосан сув буғи ишлатилади, бундай буғ *бирламчи буғ* деб юритилади. Қайнаётган эритмани буғлатиш пайтида ҳосил бўлган буғ *иккиламчи буғ* деб аталади. Эритмани буғлатиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори девор орқали берилади. Фақат айрим ҳолларда эритмани қуюлтириш учун керак бўлган иссиқлик тутун газлари ёки бошқа газсимон иссиқлик ташувчи агентларнинг суюқлик билан ўзаро контакти орқали берилади.

Буғлатиш жараёни вакуум остида, атмосфера ва юқори босимда олиб борилиши мумкин. Эритманинг хоссалари ва иккиламчи буғнинг иссиқлигидан фойдаланиш заруратига кўра ҳар хил босим ишлатилади.

Вакуум остида буғлатиш бир қатор афзалликларга эга: жараёни анча паст ҳароратда олиб бориш мумкин. Бу ҳол айниқса юқори ҳароратда парчаланиб кетиши мумкин бўлгани моддалар эритмаларини қуюқлаштиришда жуда қўл келади. Бундан ташқари вакуум таъсирида иситувчи агент ва эритма ҳарорати таъсири фойдали фарқ кўпаяди, бу эса қурилманинг иситиш юзасини камайтиришга олиб келади, вакуум билан буғлатиш учун нисбатан паст параметрли (ҳарорат ва босим) иситувчи агентдан фойдаланиш мумкин. Вакуум ишлатилганда иккиламчи буғдан қайтатдан бирламчи буғ сифатида фойдаланиш имкони туғилади.

Вакуум остида буғлатиш камчиликлардан ҳоли эмас: вакуумни ишлатиш буғлатиш қурилмасининг нархини оширади; вакуум ҳосил қилиш учун конденсатор томчи ушлагич ва вакуум-насослар керак бўлади. Бундан ташқари, қурилмани ишлатиш учун зурур бўлган сарф ҳам кўпаяди.

Атмосфера босимидан юқори бўлган босимда буғлатишда ҳосил бўлган иккиламчи буғдан қайтадан буғлатиш жараёнидан ҳамда буғлатиш билан боғлиқ бўлмаган бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин. Бошқа маҳсулотлар учун ажратилган иккиламчи буғ экстра-буғ дейилади. Юқори босим билан буғлатиш жараёнида экстра буғини ажратиб олиб ишлатиш вакуум ёрдамида буғлатишга нисбатан иссиқликдан тўлароқ фойдаланиш имконини беради. Юқори босим билан буғлатиш эритманинг қайнаш ҳароратининг ортишига олиб келади. Бундан ташқари, юқори босим билан буғлатишни амалга ошириш учун юқори ҳароратли иситувчи агент керак бўлади. Шу сабабли бу усул юқори ҳароратга чидамли моддаларнинг эритмаларини қуюлтиришда ишлатилади. Атмосфера босими билан буғлатишда иккиламчи буғ ишлатилмайди. У атмосферага чиқарилиб юборилади. Бундай усул энг оддий, аммо иқтисодий жихатдан энг тежамсиз ҳисобланади.

Буғлатиш жараёни кимё ва озиқ-овқат саноатида кенг ишлатилади. Бу жараёндан эритмаларни қуйилтириш ва эритмалардан эриган ҳолдаги моддаларни ажратиб олишдан ташқари, тоза эритувчилар олиш, совуқ ҳосил қилиш техникасида фойдаланилади.

Саноатда буғлатиш жараёни бир ва кўп корпусли қурилмаларда амалга оширилади. Асосан кўп корпусли яъни бир неча қурилмалардан ташкил топган буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Кўп корпусли қурилмаларнинг фақат биринчи қурилмасига иситувчи (бирламчи) буғ берилади. Кейинги қурилмаларни иситиш учун олдинги қурилмалардан чиққан иккиламчи буғ ишлатилади. Натижада иситувчи буғнинг сарфи камаяди.

Ишлаш режимига кўра буғлатиш қурилмалари даврий ва узлуксиз бўлади. Кичик масштабли ишлаб чиқаришда ва айрим вақтда, эритмаларнинг юқори концентрациялашда буғлатишда даврий ишлайдиган буғлатиш қурилмалари ишлатилади.

Кимё саноатида асосан узлуксиз ишлайдиган буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Замонавий буғлатиш қурилмалари анча катта иситиш юзасига эга, баозан битта қурилманинг иситиш юзаси  $2500 \text{ м}^2$  дан ортиб кетади.

Марказий циркуляция трубаи бўлган узлуксиз бўлган буғлатиш қурилмасининг ишлаш принципини кўриб чиқамиз. Қурилма асосан иситиш камераси ва сепаратордан иборат. Иситиш камераси сепаратордан алоҳида жойлашган бўлиши ҳам мумкин. Бунда иситиш камераси ва сепаратор труба орқали бирлашган бўлади. Камера одатда тўйинган сув буғ билан иситилади. Буғ трубалар ташқарисидаги бўшлиққа киради, бу ерда конденсациялаш жараёни юз беради ва ажралиб чиққан иссиқлик труба деворлари орқали эритмага берилади. Ҳосил бўлган конденсат камеранинг пастки қисмида жойлашган патрубк орқали ташқарига чиқарилади.



ажратилади ва барометрик конденсатор 5 га йўналтирилади. Ундан иккиламчи буғ конденсацияланади.

Конденсацияланмаган инерт газлар ушлагич 6 орқали вакуум - насос 8 ёрдамида сўриб олинади. Совутувчи сув билан ҳосил бўлган конденсат барометрик труба 7 орқали йиғичга тушурилади. Қуюқлаштирилган эритма насос 8 ёрдамида тайёр маҳсулот омборига узатилади.

Вакуум остида эритмаларни буғлатиш жараёнини ташкил этишнинг бир қатор афзалликлари бор: эритма қайнаш температураси пасаяди; паст босимли буғларни иссиқлик элткич сифатида қўллаш мумкин.

### Моддий ва иссиқлик баланси

Оддий буғлатиш жараёнининг моддий баланси ушбу тенгламалар ёрдамида ифодаланади:

$$G_{\delta} = G_{ox} + W \quad (17.1)$$

бу ерда  $G_{\delta}$  – бошланғич эритма сарфи, кг/соат;  $G_{ox}$  - қуюқлаштирилган эритма сарфи, кг/соат;  $W$  – буғлатилган сув миқдори, кг/соат.

Эритмадаги қуюқ моддага нисбатан моддий баланс ушбу кўринишига эга:

$$\frac{G_{\delta} \cdot x_{\delta}}{100} = \frac{G_{ox} \cdot x_{ox}}{100} \quad (17.2)$$

бу ерда  $x_{\delta}$  ва  $x_{ox}$  - эритманинг бошланғич ва охириги концентрациялари, % (масс).

Агар, (16.5) ва (16.6) тенгламалардан буғлатилган сув миқдорини топиш мумкин:

$$W = G_{\delta} \left( 1 - \frac{x_{\delta}}{x_{ox}} \right) \quad (17.3)$$

Эритманинг охириги концентрацияси эса:

$$x_{ox} = G_{\delta} \frac{x_{\delta}}{G_{\delta} - W} \quad (17.4)$$

Қуюқлаштирилган эритма бўйича буғлаткичнинг иш унумдорлиги қуйидаги тенгламадан топилади:

$$G_{ox} = \frac{G_{\delta} \cdot x_{\delta}}{x_{ox}} \quad (17.5)$$

### Иссиқлик баланси

Оддий буғлатиш жараёнининг иссиқлик баланси 17.3-расмда келтирилган иссиқлик оқимлари асосида битта тенглик ёрдамида ёзилиши мумкин:

$$G_{\delta} c_{\delta} t_{\delta} + DI = G_{ox} c_{ox} t_{ox} + G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q + W \cdot I_{u\delta} + D \cdot I_{\kappa} + Q_{iу\kappa} \quad (17.6)$$

бу ерда  $D$  - иситувчи буғ сарфи, кг/соат;  $I$  - иситувчи буғ энтальпияси, кЖ/кг;  $t_{\sigma}$  ва  $t_{ox}$  - эритманинг бошланғич ва охири температуралари, °С;  $I_k$  - конденсат энтальпияси, кЖ/кг;  $\Delta q$  - эритмани  $x_{\sigma}$  ва  $x_{ox}$  гача қуюқлаштириш иссиқлиги, кЖ/кг;  $Q_{\dot{y}uk}$  – иссиқликнинг атроф муҳитга йўқотилиши, кЖ/соат.

$G_{\sigma} c_{\sigma} t_{\sigma}$  - бошланғич эритма билан иссиқлик кириши;

$DI$  - иситувчи буғ билан иссиқлик кириши;

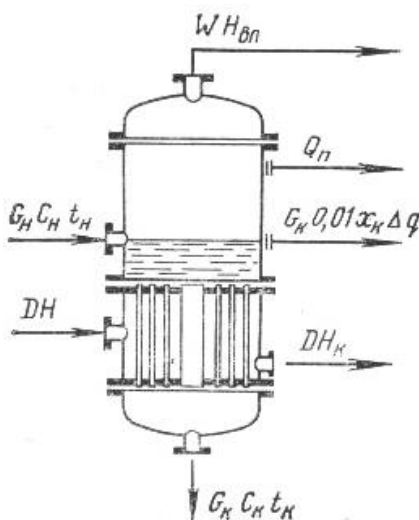
$G_{ox} c_{ox} t_{ox}$  - қуюқлашган эритма билан иссиқлик чиқиши;

$WI_{u\sigma}$  - иккиламчи буғ билан иссиқликнинг чиқиши;

$DI_k$  - иситувчи буғ конденсати билан иссиқликнинг чиқиши;

$G_{ox} 0,01 x_{ox} \Delta q$  - қуюқлаштириш иссиқлиги;

$Q_{\dot{y}uk}$  - атроф муҳитга иссиқлик йўқотилиши.



17.3-расм. Буғлатиш жараёнидаги иссиқлик оқимлар схемаси

### Буғ сарфи, иситиш юзаси ва фойдали температуралар фарқи

Буғлатиш жараёнида эритмаларнинг концентрацияси ортади ва натижада унинг физик ва иссиқлик хоссалари ўзгаради.

Буғлатиш қурилмаларини ҳисоблаш, лойиҳалаш ва эксплуатация қилиш учун муҳим бўлган эритмаларнинг баъзи бир хоссаларини кўриб чиқамиз.

Иситувчи буғнинг сарфи қуйидаги тенгламадан топилади:

$$D = \frac{G_{\sigma} t_{\sigma} (t_k - t_{\sigma}) + W(J - c'' t_k) + Q_{\text{конц.}} + Q_{\dot{y}}}{J_u - c' \theta} \quad (17.7)$$

Агар эритма аввал қайнаш ҳароратигача иситилиб, сўнгра буғлатиш қурилмасига берилса,  $t_{\sigma} = t_k$  бўлади.  $Q_{\text{конц.}}$  ва  $Q_{\dot{y}}$  нинг миқдори ҳисобга олинмаса, (18.6) тенглама ёрдамида 1 кг сувни буғлатиш учун керак бўлган иситувчи буғнинг назарий сарфини топиш мумкин:

$$D = \frac{W(J - c'' t_k)}{J_u - c' \theta} = \frac{Wr}{r'} \approx W, \quad (17.8)$$

бу ерда  $J_{и} - c'\theta = r'$  - иситувчи буғнинг конденсацияланиш иссиқлиги:  $J - c''t_k = r$  - қайнаб турган эритмалардан сувнинг буғланиш иссиқлиги (тахминан  $r = r'$  деб олиниши мумкин.)

(18.8) тенгламага кўра, битта қурилмали буғлатиш қурилмасида 1 кг сувни буғлатиш учун 1кг иситувчи буғ сарф бўлади. Амалда (атроф-муҳитга йўқотилган иссиқликни ҳисобга олинган тақдирда) 1 кг сувни буғлатиш учун кўпроқ иситувчи буғ сарф бўлади (1.1-1.2 кг).

### Иситиш юзаси

Зарур иссиқлик алмашилиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади, яъни  $Q = KF\Delta t$  дан.

Унда, узлуксиз ишлайдиган буғлаткичнинг иситиш юзаси қуйидаги ифодадан топилади:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad (17.9)$$

бу ерда  $t$  - температураларнинг фойдали фарқи, иситувчи тўйинган сув буғи ва қайнаётган эритма температуралари фарқига тенг.

Температураларнинг фойдали фарқи температуралар умумий фарқи ва температура депрессиялари орқали аниқланади.

Иситувчи ва иккиламчи буғ температуралари орасидаги фарқга температураларнинг умумий фарқи дейилади ва ушбу кўринишда ёзилади:

$$\Delta t_{ум} = t_{иб} - t_{конд} \quad (17.10)$$

бу ерда  $t_{иб}$  - иситувчи буғ температураси, °С;  $t_k$  - конденсаторга киришдаги иккиламчи буғ температураси, °С.

Температураларнинг фойдали фарқи  $t_{ум}$  дан температуралар йўқотилиш йиғиндиси  $\Sigma\Delta$  га камроқ бўлади, яъни

$$\Delta t = \Delta t_{ум} - \Sigma\Delta \quad (17.11)$$

бу ерда

$$\Sigma\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

**Температура депрессияси -  $\Delta'$ .** Эритма  $T_2$  ва эритувчилар  $T_1$  қайнаш температуралари ўртасидаги фарқдир, яъни  $\Delta t = T_2 - T_1$  температура депрессияси деб номланади. Эритмалар назариясидан маълумки, бир хил  $T_1$  температурада тоза эритувчи устидаги буғларининг босими  $p_1$ , эритма устидаги буғларнинг босими  $p_2$  дан ҳар доим кўп бўлади. Ёки бир хил босимда тоза эритувчининг қайнаш температураси эритманинг қайнаш температурасидан паст бўлади.

Эритмаларнинг температура депрессияси эритувчи ва эриган моддалар хоссаларига боғлиқдир. Босим ва концентрация ортиши билан температура

депрессияси ошади. Кўпинча ушбу кўрсаткич тажрибавий йўл билан аниқланади.

Маълумки, буғлаткичларда иссиқлик йўқотилиши оқибатида температураларнинг пасайиш ҳодисаси юз беради. Натижада температуралар фарқи камаяди ва жараён интенсивлиги сусаяди. Температуралар йўқотилиши  $\Delta$ , температура депрессияси  $\Delta'$ , гидростатик  $\Delta''$  ва гидравлик депрессия  $\Delta'''$  лар йиғиндисига тенг, яъни:  $\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$ .

Агар, эритманинг атмосфера босимдаги температура депрессияси  $\Delta'_{атм}$  маълум бўлса, исталган бошқа босимлардаги депрессия Тищенко формуласидаги тахминан ҳисоблаб аниқланиш мумкин:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{атм} \quad (17.12)$$

бу ерда  $T$  - маълум босимдаги тоза эритувчининг қайнаш температураси, К;  $r$  - маълумки босимдаги тоза эритувчининг буғлатиш иссиқлиги, кЖ/кг;  $\Delta'_{атм}$  - атмосфера босимидаги температура депрессияси, °С.

Агар,  $\Delta'_{атм}$  катталиги бўйича тажрибавий маълумотлар йўқ бўлса, уни бир нечта усул билан тахминан ҳисоблаб топиш мумкин. Бирор босимда эритманинг битта қайнаш температураси маълум бўлса - Бабо, иккита температураси маълум бўлганда эса - Дюринг ёки Киреев қоидасига биноан аниқлаш имкони бор.

Бабо қоидасига биноан, бирор концентрацияли эритма устидаги буғ босимининг пасайиши  $(p_1 - p_2)/p_1$  ёки  $p_2/p_1$  температурага боғлиқ эмас ва ўзгармас қийматга тенгдир:

$$\frac{p_2}{p_1} = K = const \quad (17.13)$$

бу ерда  $p_1$  ва  $p_2$  - эритувчи ва эритма буғларининг босимлари.

**Гидростатик депрессия -  $\Delta''$ .** Буғлаткич қайнаш трубаларининг бир қисми суюқлик билан тўлиб турган бўлади ва унинг устида буғ - суюқликдан иборат эмульсия қатламида юқорига қараб кўтарилган сари буғнинг миқдори ошиб боради.

Агар, қайнаш трубасидаги суюқлик ва эмульсияни шартли равишда суюқлик деб номласак, унда гидростатик босимлар фарқи ҳисобига трубанинг пастки қисмидаги суюқликнинг қайнаш температураси тепа қисмини-кидан юқори бўлади.

Гидростатик эффект ҳисобига эритма қайнаш температурасининг ортиши **гидростатик депрессия** деб аталади.

Буғлатиш жараёни вакуум остида олиб борилганда, гидростатик депрессия салмоқли бўлади.

Тўйинган сув буғи  $t_c$  ва иккиламчи буғ температура  $T$  лари орасидаги фарқ гидростатик депрессияни беради:

$$\Delta'' = t_c - T'' \quad (17.14)$$

Ушбу тенглик эритма ҳаракатини инобатга олмагани учун унинг хатолиги катта. Шунинг учун  $\Delta''$  нинг қийматлари тажрибавий усулда топилади.

Вертикал буғлаткичда интенсив ҳаракатланаётган эритмалар учун  $\Delta''$  миқдори  $1...3^{\circ}\text{C}$  ораликда қабул қилиниши мумкин.

**Гидравлик депрессия** -  $\Delta'''$ . Ушбу депрессия иккиламчи буғнинг сепаратор ва қувурлар орқали ҳаракати даврида ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликларни енгиши туфайли вужудга келадиган температура йўқотилишлар.

Ушбу гидравлик қаршиликларни енгиш вақтида босимнинг камайиши, температура пасайишига сабабчи бўлади.

Демак, гидравлик қаршиликлар туфайли эритма қайнаш температурасининг кўпайиши **гидравлик депрессия** деб номланади. Одатда  $\Delta'''$  нинг қиймати  $0,5...1,5^{\circ}\text{C}$  оралиғида бўлади.

Юқорида қайд этилган депрессияларни ҳисобга олсак, эритманинг қайнаш температураси қуйидагича ҳисобланади:

$$t_{\kappa} = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (17.15)$$

бу ерда  $T'$  - иккиламчи буғ температураси, К

**Эритмалар иссиқлик сиғими** температура ва эриган моддалар концентрациясининг функциясидир.

Кўпчилик эритмалар иссиқлик сиғими аддитивлик қонунига бўйсинади. Шунинг учун эритманинг ушбу хоссасини эриган модда ва эритувчилар иссиқлик сиғимлари ёрдамида аниқлаб бўлмайди. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, эритма концентрацияси қанчалик катта бўлса, унинг иссиқлик сиғими шунчалик аддитивлик қонунига кам бўйсинади. Эритманинг ушбу хоссаси махсус адабиётларда келтирилган.

**Эритиш иссиқлиги** эритманинг концентрацияси, эритувчи ва эриган моддалар хоссаларига боғлиқ. Қўшимча қаттиқ моддалар эриши даврида кристаллик панжара бузилади. Албатта, бунинг учун энергия сарфланади ва оқибатда эритманинг совиши рўй беради. Агар, эритувчи ва эрийдиган моддалар ўзаро кимёвий реакцияга киришса, гидратлар ҳосил бўлиб, жараён натижасида иссиқлик ажраб чиқади. Шундай қилиб, эритиш иссиқлиги эриш ва кимёвий ўзаро таъсир иссиқликлари йиғиндисига тенг.

Осон гидрат ҳосил қиладиган моддалар мусбат эритиш иссиқлигига (сувда), эга; гидрат ҳосил қилмайдиган моддалар - манфий эритиш иссиқлигига эга.

### Назорат саволлари

1. Буғлатиш деб нимага айтилади?
2. Бирламчи буғ деб нимага айтилади?
3. Буғлатиш жараёнлари қандай босимларда олиб борилади?
4. Экстра буғ деб нимага айтилади?
5. Бир корпусли буғлатиш қурилмасининг ишлаш принципини айтинг?
6. Моддий баланс тенгламасини ёзинг.
7. Иссиқлик баланс тенгламасини ёзинг.
8. Температура депрессиясини изоҳланг.
9. Гидростатик депрессияни изоҳланг.
10. Гидравлик депрессияни изоҳланг.



## 18-Маъруза

### Мавзу: Кўп корпусли буғлатиш

**Режа:**

1. Кўп корпусли буғлатиш қурилмалари.
2. Умумий температуралар фарқи ва унинг тақсимланиши.
3. Қурилмалар турлари ва ҳисоби.

*Таянч сўзлар ва иборалар: эритувчи, концентрация, буғ босими, қайнаш ҳарорати, корпус, иссиқлик узатиш, иссиқлик миқдори, иситиш юзаси, қурилмалар турлари, қурилмалар ҳисоби, қурилмаларни танлаш.*

#### **Кўп корпусли буғлатиш қурилмалари**

Саноатда эритмаларни қуюқлаштириш учун кўп буғлатиш қурилмалар кенг ишлатилади. Бундай қурилмалар иситувчи буғнинг иссиқлигидан бир неча бор фойдаланишга асосланган. Бунда биринчи қурилмага иситувчи буғ берилса, иккинчи қурилмани иситиш учун биринчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади, учинчи қурилмани иситиш учун эса иккинчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади ва хоказо. Охирги қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ конденсаторга юборилади. Қурилмаларнинг сони кўпайиши билан 1 кг сувни буғлатиш учун зарур бўлган иситувчи буғнинг сарфи камайиб боради. Агар бир корпусли қурилмадан икки корпусли қурилмага ўтишда буғнинг сарфи тахминан 50% га камайса, тўрт корпусли қурилмадан беш корпусли қурилмага ўтишда буғнинг сарфи 10 % га камаяди. Демак, маълум бир аниқ шароит учун қурилмаларнинг оптимал сони топилиши зарур.

**Кўп корпусли қурилмалар схемаси.** Охирги қурилмадаги иккиламчи буғнинг босимига кўра, кўп корпусли буғлатиш қурилмалари вакуум (сйракланиш) билан ва юқори босим остида ишлайдиган бўлади. Иситувчи буғ ва буғланаётган эритма оқимларининг ўзаро ҳаракатига кўра кўп корпусли буғлатиш қурилмалари бир неча схемаларга бўлинади:

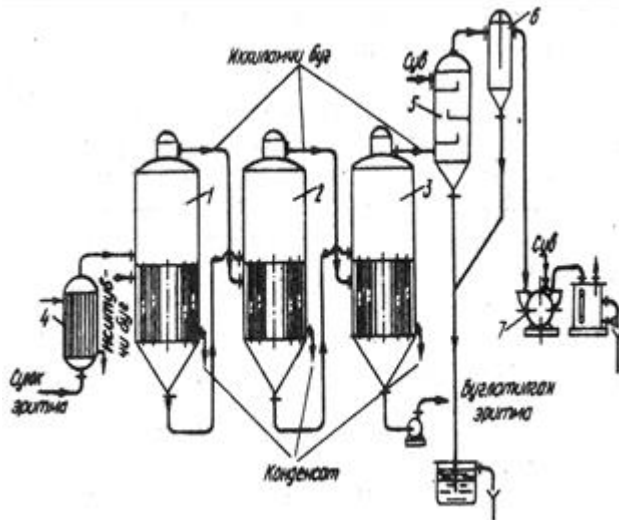
1. бир хил йўналишли кўп корпусли буғлатиш қурилмалари;
2. қарама-қарши кўп корпусли буғлатиш қурилмалари;
3. эритма билан узлуксиз параллел таъминладиган буғлатиш қурилмалари;
4. мураккаб схемалар;
5. экстра-буғ ажратиб олинадиган кўп корпусли буғлатиш қурилмалари.

Саноатда асосан бир хил йўналишли қурилмалар ишлатилади, чунки булар энг тежамли ҳисобланади. Бундай қурилмаларда кичик параметрли сув буғидан фойдаланиш мумкин. Айрим вақтда қурилманинг биринчи қурилмани иситиш учун буғ турбиналарида ишлатилиб бўлинган сув буғидан фойдаланилса бўлади.

Бир йўналишли қурилма бир неча қурилмадан (бизнинг мисолимизда учта) ташкил топган. иситгичда қайнаш ҳароратигача қиздирилган дастлабки эритма биринчи қурилмага берилади. Биринчи қурилма бирламчи буғ билан иситилади. Биринчи қурилмада ҳосил бўлган иккиламчи буғ иситувчи агент сифатида иккинчи қурилмага берилади. Иккинчи қурилмадаги босим биринчи

қурилмадагига нисбатан паст, натижада иккинчи қурилмада эритма биринчи қурилмадагига нисбатан анча паст ҳароратда қайнайди.

Иккинчи қурилмада босим анча паст бўлганлиги сабабли биринчи қурилмада қисман буғланган эритма ўз-ўзидан иккинчи қурилмага ўтади ва эритма иккинчи қурилмада қайнаш ҳароратигача совийди. Бунда иссиқлик ажралиб чиқади; натижада маълум миқдорда қўшимча иккиламчи буғ ҳосил бўлади. Қурилманинг ҳамма қурилмаларида (биринчидан ташқари) юз берадиган бу ҳол эритманинг ўз-ўзидан буғланиши деб юритилади.



Иккинчи қурилмада буғлатилган эритма учинчи қурилмага ўз-ўзича ўтади. Учинчи қурилмани иситиш учун иккинчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади. Охири қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ барометрик конденсаторга узатилади. Бу ерда буғнинг конденсацияланиши натижасида тегишли сийракланиш (вакуум) ҳосил қилинади. Ҳаво ва кнденсацияланмай қолган газлар иссиқлик алмашилиш жараёнини

сусайтиради. Шу сабабли совитувчи агент (сув) билан, қурилмаларнинг зичмас жойлари орқали кириб қолган газлар томчи ушлагич орқали вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Конденсатордаги қолдиқ босимнинг қиймати сув ҳароратининг ўзгариши билан ўзгаради. Шу сабабли вакуум-насос ёрдамида қурилмада тегишли қийматдаги вакуумни сақлаб туриш мумкин.

Бир хил йўналишили буғлатиш қурилмасининг асосий афзаллиги шундаки, эритмани бир қурилмадан иккинчисига ўтказиш учун иссиқ оқимда ишлашга мосланган насослар ишлатилиши талаб қилинмайди. Ҳар бир кейинги қурилмада олдингисига нисбатан концентрацияли эритмани пастрок босимда буғлатишга тўғри келади. Шунинг учун охири қурилмадаги иссиқлик ўтказиш коэффициенти биринчи қурилмадагига нисбатан бир неча марта кичик бўлади. Бу ҳол бир хил йўналишли қурилмаларнинг камчилигидир.

Қарама-қарши йўналишли кўп қурилмали буғлатиш қурилмаларида иситувчи буғ ва буғланаётган эритма бир қурилмадан иккинчисига ўтишида ўзаро қарама-қарши томонга ҳаракатланади. Агар дастлабки эритма учинчи қурилмага берилса, бирламчи иситувчи буғ биринчи қурилмага берилади. Биринчи қурилмада ҳосил бўлган иккиламчи буғ иккинчи қурилмада иситувчи агент сифатида ишлатилади ва ҳоказо. Учинчи қурилмада қисман қуюқлаштирилган эритма иккинчи қурилмага насос ёрдамида ўтказилади, сўнгра иккинчи қурилмадан биринчисига яна насос ёрдамида хайдалади. Қуюқлаштирилган эритма биринчи қурилмадан олинади, охириги қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ эса конденсаторга берилади.

Қарама-қарши йўналишли қурилмалар эритмаларни жуда катта концентрацияларгача буғлатишда ва қуюқлаштириш жараёнида қовушоқлиги ортиб кетадиган эритмаларни буғлатишда ишлатилади. Бундай қурилмаларнинг асосий афзаллиги шундаки, улар бир хил йўналишли қурилмаларга нисбатан кичик иситиш юзасини талаб қилади. Камчилиги: қурилманинг ишлаши учун иссиқлик оқимиға мўлжалланган насослар керак.

Параллел таъминланиш режими билан ишлайдиган қурилмаларда дастлабки эритма бир вақтнинг ўзида ҳамма қурилмаларга берилади. Ҳар бир қурилмадан чиқаётган қуюқлаштирилган эритма бир хил концентрацияға эга бўлади. Иситувчи буғ фақат биринчи қурилмага берилади, қолган қурилмаларда иситувчи агент сифатида олдинги қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ ишлатилади. Охирги қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғ конденсаторға юборилади. Бундай тасвирлар асосан таркибида қаттиқ фаза заррачалари тутган тўйинган эритмаларни буғлатишда ҳамда эритмаларни юқори концентрацияларгача қуюқлаштириш талаб қилинмаган шароитларда ишлатилади.

Мураккаб тасвирларда эритмани қурилмага киритиш ва уни силжитишнинг турли вариантлари ишлатилади. Масалан, эритмани ҳар бир қурилмага алоҳида-алоҳида киритиш ёки эритмани иккинчи қурилмага киритиб, сўнгра уни учинчи қурилмага бериш ҳамда қуюқлаштирилган эритмани биринчи қурилмадан олиш ва бошқа шу каби схемалардан фойдаланиш мумкин. Бундай мураккаб схемалар махсус шароитлар талаб қилингандагина ишлатилади.

Комбинациялашган буғлатиш қурилмаларида эритмани киритиш ва чиқариш вариантлари турлича бўлиши мумкин.

Параллел йўналишли буғлатиш қурилмасининг афзалликлари: эритмани корпусдан корпусға узатиш учун насос керак эмас.

Ҳар бир кейинги корпусда, юқори концентрацияли эритма, нисбатан пастроқ босимда буғлатилади.

Шу охирги корпусдаги иссиқлик ўтказиш коэффиценти биринчисига қараганда анча кичик бўлади.

Қарама - қарши йўналишли буғлатиш қурилмасининг афзалликлари: жуда юқори концентрацияларгача қуюқлаштириш мумкин; бир йўналишли қурилмаларга нисбатан кичик иситиш юзаси талаб этилади. Камчилиги: эритмани корпусдан корпусға узатиш учун насослар зарур.

Буғлатиш қурилмаларининг сони кўп бўлса, бунда температуралар йўқотилишининг йиғиндиси, температураларнинг умумий фарқиға тенг ёки ундан ортиб кетиши мумкин. У ҳолда эритмаларни буғлатиш қийинлашади ва жараённи ўтказиш имкони бўлмай қолади.

Қурилмаларнинг оптимал сонини техник-иқтисодий ҳисоблашлар йўли билан аниқлаш мақсадға мувофиқдир.

### **Умумий температуралар фарқи ва унинг тақсимланиши**

Буғлатиш лозим бўлган эритманинг миқдори  $G_6$  унинг бошланғич ва охирги концентрациялари  $v_6$  ва  $v_k$  қурилмага кираётган эритманинг ҳарорати  $t$ ,

иситилаётган буғнинг ҳарорати  $T_n$  ҳамда охири яъни учинчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғнинг конденсацияланиш ҳарорати  $T_k'''$  маълум бўлиши керак.

Шундай қилиб, ҳарорат ва гидростатик депрессияни ҳисобга олган ҳолда эритманинг қайнаш ҳароратининг қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$t_k = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (18.1)$$

бу ерда  $T'$  - иккиламчи буғ ҳарорати.

Ҳар бир қурилмадаги эритманинг қайнаш ҳарорати қуйидагича аниқланади:

а) учинчи қурилмадаги эритманинг қайнаш ҳарорати:

$$t_3 = t_3^3 + \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3; \quad (18.2)$$

б) иккинчи қурилмадаги эритманинг қайнаш ҳарорати:

$$t_2 = t_3^3 + \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3; \quad (18.3)$$

в) биринчи қурилмадаги эритманинг қайнаш ҳарорати:

$$t_1 = t_3^3 + \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1; \quad (18.4)$$

бу ерда  $t_3^3$ ,  $t_3^2$ ,  $t_3^1$  – учинчи, иккинчи ва биринчи қурилмадаги эритувчининг қайнаш ҳарорати;  $\Delta'_3$ ,  $\Delta'_2$ ,  $\Delta'_1$  - учинчи, иккинчи ва биринчи қурилмадаги эритманинг ҳарорат депрессияси;  $\Delta''_3$ ,  $\Delta''_2$ ,  $\Delta''_1$  - учинчи, иккинчи ва биринчи қурилмадаги гидростатик эффект таъсирида эритмани қайнаш ҳароратининг пасайиши;  $\Delta'''_3$ ,  $\Delta'''_2$ ,  $\Delta'''_1$  - учинчи, иккинчи ва биринчи қурилмадаги гидравлик қаршилик таъсирида буғ ҳароратини пасайиши.

Ҳарорат, гидростатик ва гидравлик депрессияларнинг қийматлари эритманинг тури ва унинг концентрациясига кўра танлаб олинади ёки ҳисоблаб топилади.

Фойдали ҳароратларни қурилмалар бўйича тақсимланишини аниқлаймиз. Фойдали ҳароратлар фарқи  $\Delta t$  қурилма бўйича икки хил усулда тақсимланади: а) Ҳамма қурилмаларнинг иситиш юзаси бир хил бўлган шароитда; б) умумий иситиш юзаси энг кам бўлганда.

Фойдали ҳароратлар фарқи биринчи усул билан тақсимланганда қурилмалар бўйича  $\Delta t$  қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1 \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \Delta t_2 = \frac{Q_2 \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \Delta t_3 = \frac{Q_3 \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}} \quad (18.5)$$

Фойдали ҳароратлар фарқи иккинчи усул билан тақсимланганда қурилмалар бўйича  $\Delta t$  қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \Delta t_2 = \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \Delta t_3 = \frac{\sqrt{\frac{Q_3}{K_3}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad (18.6)$$

бу ерда

$$\Delta t_1 = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K};$$

### Қурилмалар турлари ва ҳисоби

Буғлатиш жараёни ҳар хил буғлатгичларда олиб борилади. Буғлатиш қурилмалари иситувчи юзанинг конструкцияси ва жойлашуви, иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши, циркуляция тури, режими ва бошқа бир қатор омилларга кўра бир неча турларга ажратилади.

Буғлатиш қурилмаларини классификациялаш усуллари кўп. Лекин, буғлатиш қурилмаларини ишлаш интенсивлигини характерловчи эритма циркуляциясининг тури ва карралиги классификациялашнинг асосий белгилари деб ҳисоблаш мумкин. Кимё ва озиқ-овқат саноатларида уч хил буғлатиш қурилмалари кенг тарқалган:

1. Эркин (табiiй) циркуляцияли буғлатиш қурилмалари;
2. Мажбурий циркуляцияли буғлатиш қурилмалари;
3. Юпқа қатламли (плёнкали) буғлатиш қурилмалари.

Замонавий буғлатиш қурилмаларининг иситиш юзалари 10...1800 м<sup>2</sup>. Буғлаткичлар конструкцияларини танлашда эритмаларнинг физик ва иссиқлик хоссалари, кристаллинишга мойиллиги, юқори температураларга чидамлилиги, ҳар бир корпусдаги фойдали температуралар фарқи, иссиқлик алмашилиш қурилмасининг юзаси, технологик хусусиятлари ҳисобга олиниши зарур.

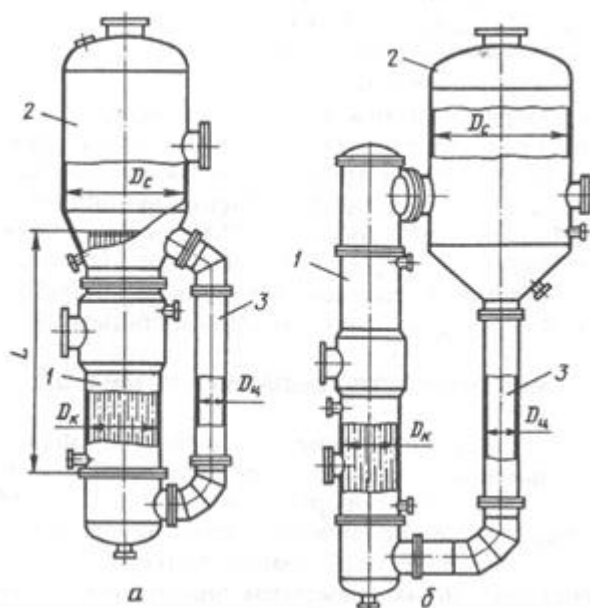
Буғлатиш қурилмалари углеродли, легирланган ва икки қатламли пўлатлардан тайёрланади.

Буғлатиш қурилмаларининг конструктив тузилиши 3 қисмдан иборат: иситиш камераси, буғ бўшлиги ва томчи ажраткич.

**Ташқи циркуляцион трубали буғлатиш қурилмалари.** Иситувчи камера юзасининг катта ва иситиш трубалари зич бўлишини таъминлаш мақсадида эритмани циркуляция қилиш трубаси буғлатиш қурилмасининг ташқи томонига ўрнатилади. Бундан ташқари, циркуляция трубаси иситиш камерасидан ташқарида жойлашгани учун, циркуляция булаётган эритманинг совиши натижасида унинг табiiй циркуляция тезлиги ортади ҳамда иситувчи камеранинг диаметри қурилма диаметрига нисбатан бирмунча кичик бўлиб, циркуляция труба эса иситувчи камеранинг атрофида ихчам жойлашади. Иккиламчи буғни сув томчиларидан ажратувчи ушлагич ҳам қурилмадаги буғ бўшлиғидан ташқарида жойлашган бўлади. Бу қурилмаларнинг конструктив тузилиши анча мураккаб, аммо бу қурилмалар иссиқлик ўтказиш самарадорлиги юқори ва 1 м<sup>2</sup> иситиш юзасига циркуляцион буғлатиш қурилмаларига нисбатан кам металл сарфланади.

**Ташқи иситиш камерали буғлатиш қурилмалари.** Бундай қурилмалар кристалланувчи ва кўпик ҳосил килувчи эритмаларни буғлатиш учун ишлатилади. Улар 2 қисмга бўлинади: *иситувчи камера* ва *сепаратор*. Иситиш трубаларининг узунлиги 7 метрга етади. Трубалар узунлигининг ортиши билан циркуляциянинг интенсивлиги ҳам кўпаяди. Иситгичнинг сепаратордан алоҳида жойлашиши трубаларни тозалаш ва тузатиш учун қулайлик яратади. Бу қурилмаларда эритмаларнинг циркуляция тезлиги 1,5 м/с га тенг. Бундай буғлатиш қурилмаларида иссиқлик ўтказиш коэффициенти юқори ва ишлатиш қулай бўлганлиги учун улардан кенг миқёсда фойдаланилади.

Ажратилган иситгичли буғлатиш қурилмаларида иситгичлар вертикал, горизонтал ва оғма ҳолда ўрнатилади.



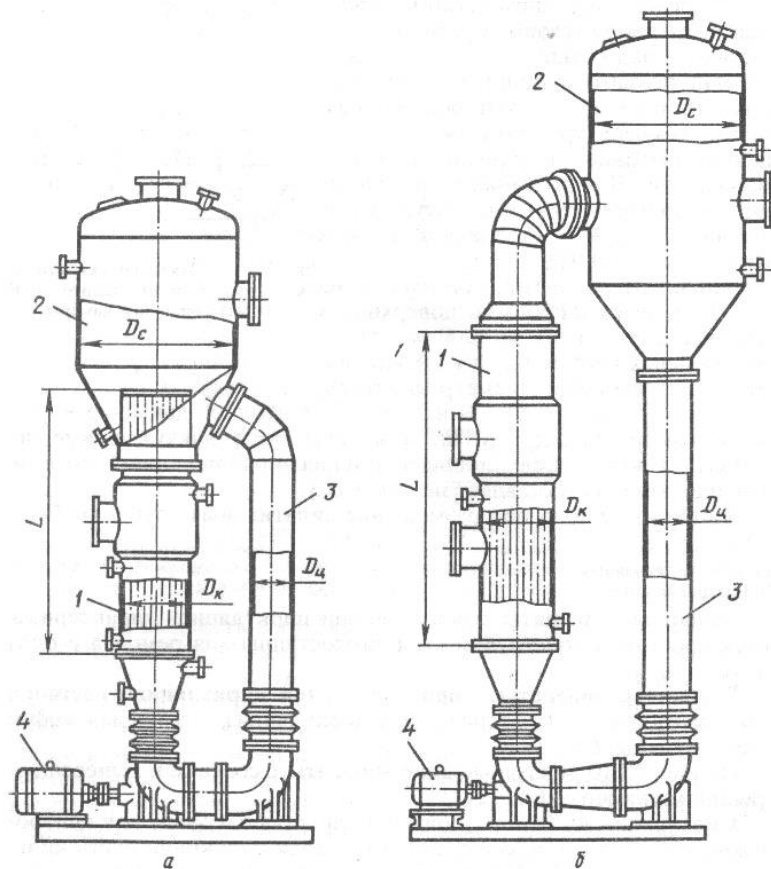
**18.1-расм. Эркин (табiiй) циркуляцияли буғлатиш қурилмалари.**

а – ташқи циркуляцион труба буғлатиш қурилмаси; б – ташқи иситиш камерали буғлатиш қурилмаси: 1- иситувчи камера; 2-сепаратор; 3-циркуляцион труба.  $D_c$ ,  $D_k$ ,  $D_u$  - сепаратор, иситувчи камера ва сепарацион труба диаметрлари;  $L$  - камера узунлиги

**Мажбурий циркуляцияли буғлатиш қурилмалари.** Қуюқ, солиштирма оғирлиги катта, қовушқоқлиги юқори бўлган эритмаларнинг табiiй циркуляция тезлиги жуда кам бўлади. Бу турдаги эритмалар юқорида айтилган қурилмаларда буғлатилганда иссиқлик ўтказиш коэффициенти жуда кам бўлиб, унумдорлиги пасайиб кетади.

Мажбурий циркуляцияли буғлаткичлар эритма циркуляциясининг интенсивлиги ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш имконини беради. Бундай қурилмаларда қовушқоқлиги катта бўлган эритмаларни ҳам буғлатиш мумкин. Эритма циркуляцияси пропеллерли ёки марказдан қочма типдаги насослар ёрдамида амалга оширилади.

Бошланғич эритма иситувчи камера 1 нинг пастки қисмига юборилса, қуюқлаштирилган эритма эса - сепараторнинг пастки қисмидан чиқарилади.



**18.2 – расм. Мажбурий циркуляцияли буғлатиш қурилмалари.**

а – ташқи циркуляция труба буғлатиш қурилмаси; б – ташқи иситиш камерали буғлатиш қурилмаси: 1 - иситувчи камера; 2 - сепаратор; 3 - циркуляция труба; 4 - насос.

Эритма қайнаш трубалари учидан озгина пастрок сатҳда ушлаб турилади. Иситувчи камера трубаларадаги эритма тезлиги 1,2...3,5 м/с бўлади. Эритма циркуляция қиладиган система суюқлик билан тўлиб тургани учун насос иши фақат гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарфланади. Қайнаш трубаларининг пастки қисмидаги босим, тепа қисминикидан, труба ичидаги суюқлик устини ва қаршиликлар йиғиндисига тенг миқдорда ортиқ бўлади. Шунинг учун, трубанинг кўп қисмида эритма қайнамасдан, фақат иситилади. Труба учининг маълум бир қисмидагина эритма қайнайди. Насос узатаётган суюқлик миқдори буғлатаётган сувдан бир неча баробар ортиқдир. Шунинг учун ҳам, суюқлик массасининг қайнаш трубадан чиқаётган буғ - суюқлик аралашмадаги буғ массасига нисбати жуда катта.

Бу турдаги буғлаткичлар иситиш юзаси 25...1200 м<sup>2</sup>, қайнаш трубаларининг узунлиги 4...9 м, диаметри 25, 38, 57 мм бўлиши мумкин. Иситувчи камерадаги ортиқча босим 0,3...1,0 МПа, сепаратордаги вакуум эса - 93 кПа. Циркуляция труба кўндаланг кесими юзасининг иситувчи камера юзасига нисбати 0,9 дан кам бўлмаслиги керак.

Одатда, буғлаткичлар қиммат легирланган металллардан ясалганда, ҳамда қовушқоқлиги юқори ва кристалланишга мойил эритмаларини буғлатиш учун қўллаш юқори самара беради.

Циркуляция тезлигини ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун мажбурий циркуляцияли буғлатиш қурилмалари ишлатилади.

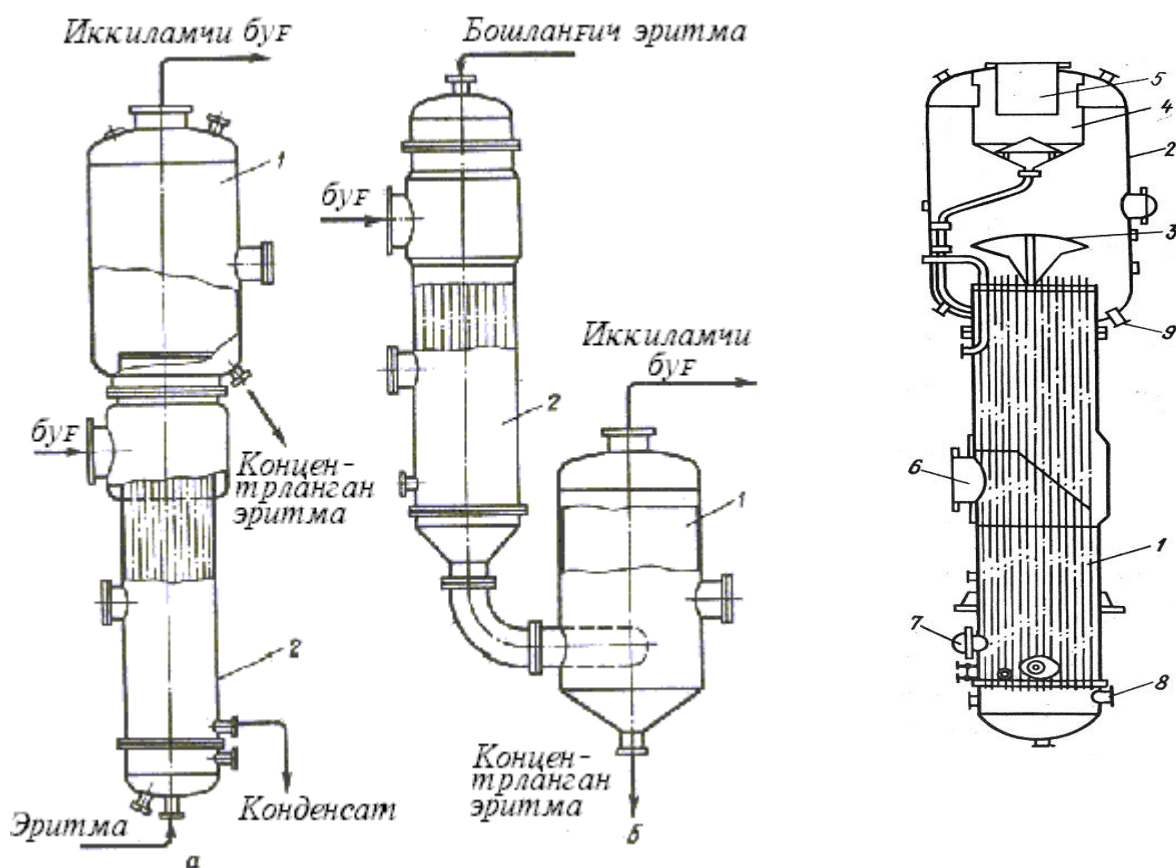
Суюқликларни циркуляцияси пропеллерли ва марказдан қочма насослар ёрдамида амалга оширилади.

Афзаллиги: табиий циркуляцияли қурилмаларга нисбатан иссиқлик ўтказиш коэффициентлари 3-4 марта катта, шунинг учун иситиш юзаси кам бўлса ҳам бўлади, иситувчи юзада кичик температуралар фарқида (3...5°C) ҳам самарали ишлайди; кристалланувчи эритмаларни буғлатилганда иссиқлик алмашилиш юзаларида ифлосликлар ёпишиб қолмайди.

Камчилиги: насосни ишлатиш учун қўшимча энергия сарфланади.

**Плёнкали буғлатиш қурилмалари.** Кўпикланувчи ва иссиқликка чидамсиз эритмалар учун плёнкали буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Бундай қурилмаларда эритма иситиш трубаларнинг юзаси бўйлаб суюқликларнинг плёнка ҳолида ҳаракат қилади. Плёнкали буғлатиш қурилмалари иситиш трубаларида ҳаракатланаётган эритманинг йўналишига қараб икки хил (кўтарилувчи ва пастга йўналувчи плёнкали) бўлади.

Кўтарилувчи плёнкали буғлатиш қурилманинг иситиш камераси труба турига ўрнатилган, узунлиги 7-9 метрли трубалар тўпламидан ва ажратувчи сепаратордан иборат бўлади.



**18.3 – расм. Плёнкали буғлатиш қурилмалари.**

а – кўтарилувчи қатламли буғлаткич; б - пастга оқиб тушувчи қатламли буғлаткич.  
1 - сепаратор; 2 - иситувчи камера.

Буғлатилаётган эритма тўхтовсиз иситиш камерасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг 1/4...1/5 қисмини тўлдиради. Иситувчи буғ трубалар орасидаги бўшлиққа берилади. Буғ таъсирида эритма қайнаганда трубаларнинг

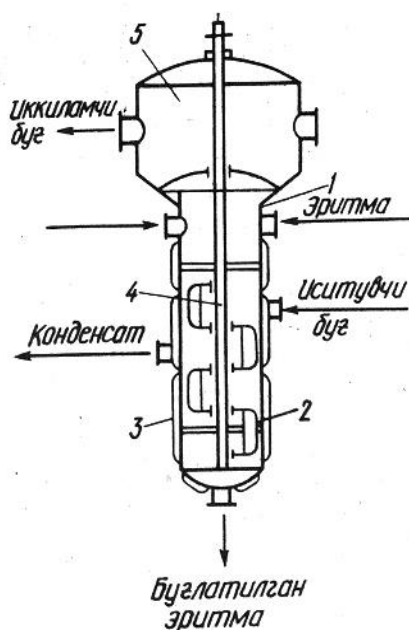


қолган қисмлари буғ-суюқлик аралашмаси билан тўлади. Бу аралашма иситиш трубаларининг девори атрофида суюқлик плёнкасига ва унинг марказида буғга ажралган бўлади. Суюқлик плёнкаси буғ оқимиغا ишқаланиши сабабли юқорига қараб трубаларнинг ички юзаси бўлиб катта тезликда ҳаракат қилади ва буғланади. Иситиш трубаларнинг юқориги қисмида буғнинг миқдори кўпайиб боради ва натижада эритманинг концентрацияси ҳам ошиб боради.

Иситиш трубаларидан чиқаётган иккиламчи буғга аралашган суюқлик томчилари сепаратордаги тўсиққа урилиб, пастдаги иситиш трубаларига тушади. Намланган буғ томчи ушлагичга тангенциал йўналишда кириб айланма ҳаракат қилади. Томчи ушлагичда иккиламчи буғ таркибида қолган сув томчилари марказдан қочма куч таъсирида унинг деворларига урилиб пастга оқиб тушади, иккиламчи буғ эса қурилманинг юқори қисмидан чиқиб кетади.

Қуюлтирилган эритма сепараторнинг пастки қисмида ўрнатилган штуцер орқали олинади. Кўтарилувчи плёнкали буғлатиш қурилмаларининг умумий баландлигини камайтириш мақсадида иситиш камераси билан сепаратор алоҳида тайёрланиб, ёнма-ён ўрнатилади.

Қовушқоқлиги катта бўлган эритмаларни буғлатиш учун пастга йўналувчи плёнкали буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Бу қурилмаларда дастлабки эритма иситиш камерасининг юқори қисмидан берилади. Эритма иситиш трубалари юзаси бўйлаб суюқликларнинг плёнка ҳолида оғирлик куч таъсирида пастга қараб ҳаракатланади. Буғ-суюқлик аралашмаси ва иккиламчи буғ қурилманинг пастки қисмидаги сепараторда ажратилади. Плёнкали буғлатиш қурилмаларининг иситиш камерасида буғланаётган эритма берилаётган буғ билан кам тўқнашувда бўлгани учун у юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга. Бу қурилмаларнинг иситиш трубалари узун бўлганлиги учун фойдали ҳароратлар фарқи гидростатик босим ҳисобига камаяди.



18.4-расм. Ротор-плёнкали буғлатиш қурилмаси.

Камчиликлари: иситиш трубалари узун бўлганлиги учун уларни тозалаш ва бир хил унумдорликка эришиш қийин, иситувчи буғ босими ва эритманинг бошланғич концентрацияси ўзгарган пайтда буғлатиш жараёнини бошқариш қийинлашади, кристалланувчи эритмаларни буғлатиш мумкин эмас.

**Ротор-плёнкали буғлатиш қурилмаси.** Кристалланувчи, қовушқоқ ва иссиқликка чидамсиз эритмаларни буғлатиш учун ротор-плёнкали буғлатиш қурилмалари кенг қўлланилмоқда. Бу қурилма вертикал қобикли цилиндрдан иборат бўлиб, у бир неча иситувчи секциялардан ва сепаратордан иборат. Иситувчи секцияларнинг деворлари орасига иситувчи агент берилади. Иситувчи агент сифатида сув, буғ, дифенил аралашмаси ишлатилади. Қобик ичига

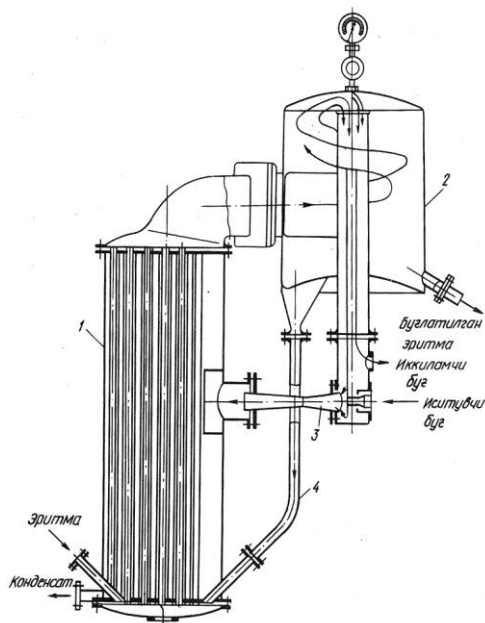
куракчалари бўлган вертикал вал (ротор) ўрнатилган. Ротор электромотор ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Роторга ўрнатилган пастдаги куракчалар 3 м/с тезлик билан айланма ҳаракат қилади. Штуцерлар орқали иситувчи секцияларга тангенциал йўналишда кирган эритма куракчалар ёрдамида бир хил тақсимланиб, иситилаётган эритма қобикнинг ички юзасида суюқликларнинг плёнка ҳолида тушади. Буғлатиб қуюқлаштирилган эритма конуссимон камеранинг пастки қисмига оқиб тушиб, тўхтовсиз равишда штуцер орқали ташқарига чиқариб турилади.

Ҳосил бўлган иккиламчи буғ сепараторда сув томчиларидан ажралади ва қурилманинг юқори қисмидан чиқиб кетади, сув томчилари эса иситувчи секцияларга оқиб тушади.

Камчиликлари: иситиш юзаси кам бўлгани учун унимдорлиги юқори эмас, конструктив тузилиши мураккаб, бошқа қурилмаларга нисбатан қиммат.

**Буғлатиш қурилмаларининг махсус турлари.** Бундай қурилмалар қаторига иссиқлик насосига эга бўлган барботажли буғлатгичлар киради.

Иссиқлик насосига эга бўлган буғлатиш қурилмалари саноатда ҳар хил мева шарбатларини, юқори ҳароратлар таъсирига мойил бўлмаган эритмаларини буғлатиш учун ишлатилади. Бундай қурилмаларда ҳосил бўлган иккиламчи буғ босими иситувчи буғнинг босимига тенг бўлгунча сиқилади. Сиқилган буғ қурилмани иситиш учун ишлатилади. Иккиламчи буғни сиқиш учун компрессорлар ва буғ оқимли инжекторлар ишлатилади.



Иссиқлик насосига эга бўлган буғлатиш қурилмаларида ташқаридан сарфланадиган энергия иккиламчи буғ ҳароратини ошириш учун хизмат қилади. Иссиқлик насосига сарфланадиган энергия миқдори иситувчи ва иккиламчи буғлар тўйиниш температуралари фарқига пропорционалдир. Шунинг учун, температура депрессияси катта бўлган эритмаларни, ушбу усулда буғлатиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқ эмас.

Қурилмани ишга туширишда янги буғ берилади. Бу буғ эритмани қайнатгунча иситилади. Иш пайтида назарий жиҳатдан ташқаридан буғ берилмайди. Амалий жиҳатдан эса ташқаридан бир оз буғ бериб туриш керак, чунки эритмани иситиш ва иссиқлик йўқолишларини қоплаш учун қўшимча буғ талаб қилинади. Одатда, иссиқлик насосли буғлатиш қурилмалари ва эритувчининг қайнаш температураларининг фарқи 5..15 °С бўлган ҳолларда қўллаш мумкин. Демак, эритманинг қайнаш температураси катта бўлса, ушбу усул ишлатилмайди. Бунга сабаб, иккиламчи буғни иситувчи буғ босимигача сиқиш учун кўп энергия сарф бўлишидир.

**Буғлатиш қурилмалари ҳисоби.** Саноатда кўп қурилмали буғлатиш қурилмалари кенг қўлланилгани учун уч корпусли буғлатиш қурилмасини ҳисоблаш усуллари кўриб чиқамиз. Бир корпусли қурилмага нисбатан кўп

корпусли қурилмаларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, бунда ҳар бир қурилма учун умумий фойдали ҳароратлар фарқи рационал тақсимланиши керак. Ҳар бир қурилма учун буғнинг сарфланиш миқдори ва буғлатилаётган сув миқдори аниқланади.

Бундай қурилмани ҳисоблаш учун буғлатиш лозим бўлган эритманинг миқдори  $G_6$  унинг бошланғич ва охириги концентрациялари  $v_6$  ва  $v_k$  қурилмага кираётган эритманинг ҳарорати  $t$ , иситилаётган буғнинг ҳарорати  $T_{и}$  ҳамда охириги яъни учинчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғнинг конденсацияланиш ҳарорати  $T_{к}'''$  маълум бўлиши керак.

1. Учала қурилмада буғланаётган эритувчининг умумий миқдори  $W$  (кг/с) ни аниқлаймиз:

$$W = G_6 \left( 1 - \frac{v_6}{v_k} \right) \quad (18.7)$$

2. Қурилмалардаги буғлатиладиган эритувчининг ўзаро нисбатини қабул қилиб, ҳар бир қурилмадаги иккиламчи буғнинг миқдорини аниқлаймиз:

$$W_1: W_2: W_3 = 1:1,05:1,1 \quad (18.8)$$

$$W_1 = \frac{W}{3,15}; W_2 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,05; W_3 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,1 \quad (18.9)$$

3. Ҳар бир қурилмага кираётган эритманинг концентрациясини аниқлаймиз:

$$v_1 = \frac{G_6 v_6}{G_6 - W_1}; v_2 = \frac{G_6 v_6}{G_6 - W_1 - W_2}; \quad (18.10)$$

$$v_3 = \frac{G_6 v_6}{G_6 - W_1 - W_2 - W_3};$$

4. Ҳар бир қурилмадаги иситувчи буғ босимини (Па) топамиз:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_1'''}{3} \quad (18.11)$$

бу ерда  $\Delta P$  – ҳар бир қурилмадаги буғ босимини камайиши;  $P_1$  – иситувчи буғнинг босими;  $P_1'''$  - биринчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғнинг босими.

а) учинчи қурилмадаги иситувчи ёки иккинчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғнинг босимини топамиз:

$$P'' = P''' + \Delta P \quad (18.12)$$

бу ерда:  $P'''$  - учинчи қурилмадан чиқаётган буғ босими, у иккиламчи буғнинг конденсацияланиш ҳароратига қараб аниқланади.

б) биринчи қурилмадан чиқаётган иккиламчи буғнинг ёки иккинчи қурилмага кираётган бирламчи буғнинг босимини топамиз:

$$P' = P''' + \Delta P. \quad (18.13)$$

6. Эритманинг трубаларда қайнаши учун зарур бўлган оптимал баландликларни аниқлаймиз. Табиий циркуляцияли буғлатиш қурилмаларида сувли эритмаларни буғлатиш учун трубалардаги суюқликнинг оптимал сатҳини ( $H_{\text{опт.,м}}$ ) қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$H_{\text{опт.,м}} = [0,26 + 0,0014(\rho_3 - \rho_c)] H_T \quad (18.14)$$

бу ерда  $H_T$  – трубаларнинг иш баландлиги, м;  $\rho_3$  - эритманинг охириги концентрацияси бўйича зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_c$  – сувнинг қайнаш ҳарорати бўйича зичлиги,  $\text{кг/м}^3$ .

7. Ҳар бир қурилма учун иссиқлик ўтказиш коэффициентларини аниқлаймиз. Қурилмадаги эритмаларни қайнаш ҳарорати ва концентрациясига қараб махсус справочник адабиётлардан эритманинг физик хоссалари (зичлик, қовушқоқлик, иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сиғими ва шу кабилар) аниқланади. Иситиш трубаларининг узунлиги ва диаметри буғлатиш қурилмасининг турига қараб қабул қилинади. Сўнгра конденсацияланаётган буғ ва қайнаётган эритма учун тегишли критериял тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) аниқланади. Кейинчалик ҳар бир қурилма учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти  $K$  ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) топилади:

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'_2}}; \\ K_2 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha''_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha''_2}}; \\ K_3 &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha'''_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha'''_2}}; \end{aligned} \quad (18.15)$$

бу ерда  $\alpha'_1$  ва  $\alpha'_2$  – биринчи қурилма учун,  $\alpha''_1$  ва  $\alpha''_2$  – иккинчи қурилма учун,  $\alpha'''_1$  ва  $\alpha'''_2$  – учинчи қурилма учун иссиқлик бериш коэффициентлари, ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ );  $\lambda$  - иситувчи трубалар девори материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ );  $\delta$  - труба деворининг қалинлиги, м.

8. Ҳар бир қурилма учун талаб қилинадиган иссиқлик миқдорини ( $\text{Вт}$ ) аниқлаймиз:

а) биринчи қурилма учун:

$$Q_1 = W_1 r_1, \quad (18.16)$$

б) иккинчи қурилма учун:

$$Q_2 = W_2 r_2 - (G_6 - W_1) c_1(t_1 - t_2) \quad (18.17)$$

в) учинчи қурилма учун:

$$Q_3 = W_3 r_3 - (G_6 - W_1 - W_2) c_2 (t_2 - t_3) \quad (18.18)$$

бу ерда:  $r_1, r_2, r_3$  – биринчи, иккинчи ва учинчи қурилмадаги буғларнинг ҳосил қилган иссиқлиги, Ж/кг;  $c_1, c_2$  – иккинчи ва учинчи қурилмалардан чиқаётган эритмаларнинг иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К);  $t_1, t_2, t_3$  – биринчи, иккинчи ва учинчи қурилмадаги эритманинг қайнаш ҳарорати, °С.

9. Биринчи, иккинчи ва учинчи қурилмадаги эритмаларни буғлатиш учун керак бўладиган буғнинг миқдори (кг/с) қуйидагича аниқланади:

$$D_1 = \frac{Q_1}{r_1 x}; D_2 = \frac{Q_2}{r_2 x}; D_3 = \frac{Q_3}{r_3 x}; \quad (18.19)$$

бу ерда:  $x$  – буғнинг қуруклик даражасини кўрсатади. Кўпинча = 0,9 ÷ 1,0 бўлади.

10. Ҳар бир қурилманинг иситувчи юзасини икки хил вариант бўйича топамиз:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}; F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}; F_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}; \quad (18.20)$$

Сўнгра икки вариант натижалари биттаси танлаб олинади. Одатда қурилмаларнинг иситиш юзаси бир хил бўлган вариант қабул қилинади; бунда бир хил типдаги қурилмалардан фойдаланиш имконияти пайдо бўлади. Кейинчалик қурилмаларнинг топилган юзаларининг қийматлари асосида буғлатиш қурилмасининг аниқ ҳисоби қилинади, бунда атроф-муҳитга иссиқликнинг йўқолиши ва қурилмалар бўйича ҳароратлар ва босимларнинг бироз ўзгарган ҳолатдаги тақсимланиши инобатга олинади.

### Буғлатиш қурилмаларини танлаш

Буғлатиш қурилмаларининг конструкциялари умуман қуйидаги талабларни қондириши керак: унумдорлиги юқори, кичик ҳажмли қурилмаларда иложи борича иссиқлик ўтказишнинг тезлиги катта, тузилиши содда, тайёрлаш учун кам металл сарфланиши, ишончли ишлайдиган, иссиқлик алмашилиш юзасини тозалаш осон ва қурилманинг баъзи бир қисмлари бузилганда тузатиш қулай бўлиши керак. Қурилма конструкцияси ва у тайёрланадиган материал, буғлатилиши лозим бўлган эритманинг физик-кимёвий хусусиятларига қараб танланади.

Буғлатиш қурилмасининг унумдорлиги ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун циркуляция тезлиги кўпайтирилади. Лекин бунда буғлатиш учун кўп энергия сарф бўлиб, фойдали ҳароратлар фарқи камаяди, чунки иситилаётган буғнинг ҳарорати ўзгармас бўлгани учун гидравлик қаршилиқлар кўпайиши билан эритманинг қайнаш ҳарорати кўпаяди.

Буғлатиш қурилмалари баъзи ўзига хос афзалликларини ҳисобга олган ҳолда танланади.

Қовушқоқлиги кам ( $8 \cdot 10^{-3}$  Па с гача), кристалл ҳосил қилмайдиган эритмаларни буғлатиш учун кўп қиррали табиий циркуляцияли вертикал буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Бу қурилмалар орасида иситиш камераси ажратилган ва ташқи циркуляция трубаи буғлатиш қурилмалари энг самарали ҳисобланади.

Кристалланмайдиган, юқори қовушқоқликка ( $100 \cdot 10^{-3}$  Па · с гача) эга бўлган эритмаларни буғлатиш учун мажбурий циркуляцияли, пастга йўналувчи плёнкали ёки ротор - плёнкали буғлатиш қурилмалари ишлатилади. Ротор- плёнкали буғлатиш қурилмалари юқори ҳароратлар таъсирига чидамли эритмаларни буғлатиш учун ҳам кўлланилади.

Кучли кристалланувчи ва қовушқоқлиги 0,05 Па · с гача бўлган эритмаларни буғлатиш учун мажбурий циркуляцияли ёки эркин тушувчи буғлатиш қурилмаларидан фойдаланиш мумкин.

Мажбурий циркуляция трубаи буғлатиш қурилмаларидан кристалланувчи ва қовушқоқ эритмаларни буғлатиш учун ҳам кенг фойдаланилади. Бундай эритмаларни табиий циркуляция билан ишлайдиган, иситиш зонаси ажратилган буғлатиш қурилмаларида ҳам буғлатиш мумкин. Кўпикланувчи эритмаларни буғлатиш учун кўтариловчи плёнкали буғлатиш қурилмаларидан фойдаланиш тавсия қилинади.

Агрессив кислота ва ишқор эритмаларини буғлатиш учун барботажли, юқори ҳарорат таъсирида бузилувчи эритмаларни (ҳар хил мева шарбатларини ) буғлатиш учун эса иссиқлик насосига эга бўлган буғлатиш қурилмалари ишлатилади.

Буғлатиш қурилмаларини тайёрлаш учун углеродли, кислотага бардошли пўлат ва мис ишлатилади. Ишқорларнинг юқори концентрацияли эритмаларни буғлатиш учун чуяндан тайёрланган қурилмалардан фойдаланилади, бундай қурилмаларнинг иситиш трубаи мисдан тайёрланади.

### **Назорат саволлари**

1. Саноатда асосан неча хил буғлатиш қурилмалари кенг тарқалган?
2. Ажратилган иситиш камераси буғлатиш қурилмаларини тушунтиринг.
3. Ташқи циркуляция трубаи буғлатиш қурилмаларини тушунтиринг.
4. Плёнкали буғлатиш қурилмаларини тушунтиринг.
5. Махсус турдаги буғлатиш қурилмаларини тушунтиринг.
6. Циркуляция трубаи буғлатиш қурилмасининг афзаллиги ва камчилигини айтинг?
7. Мажбурий ташқи циркуляция трубаи буғлатиш қурилмаларини тушунтиринг?
8. Буғлатиш қурилмаларининг афзаллиги ва камчилигини айтинг?
9. Ротор - пленкали буғлатиш қурилмалари яна қандай мақсадларда ишлатилади?
10. Буғлатиш қурилмаларининг ҳисоблаш тартибини айтинг?

## **Тавсия этилган адабиётлар рўйхати**

### **Асосий адабиётлар**

1. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Зокиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалар. - Т.: Шарқ, 2003. – 644 б.
2. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Исматуллаев П.Р. Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг асосий жараён ва қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш. –Т.: Жаҳон, 2000.- 231 б.
3. Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Исматуллаев П.Р. Кимё ва озиқ-овқат саноатларининг жараён ва қурилмалари фанидан ҳисоблар ва мисоллар. –Т.: NISIM, 1999.- 351 б.

### **Қўшимча адабиётлар:**

1. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Шелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. – Учебник. М.: Недра, 2000. -677 с.
2. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – Учебник. М.: Химия, 1991. т.1-2. – 810 с.
3. Г.Д. Кавецкий, А.В. Королев. Процессы и аппараты пищевых производств. – Учебник. Москва ВО «Агропромиздат», 1991. – 431 с.
4. Nurmuhamedov X.S., Gulyamova N.U. «Asosiy texnologik jarayon va qurilmalar» fanidan uslubiy qo'llanma - Uslubiy qo'llanma. Toshkent: 2012. – 152 b.
5. Салимов З. Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари. Тошкент. 1- том, 1994.
6. Салимов З. Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари. Тошкент. «Ўзбекистон», 2 – том, 1995.
7. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической технологии. –Л.: Химия, 1987-576 с.

### **Кафедра томонидан яратилган услубий манбаалар:**

1. Усманов Б.С. “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” фанидан маъруза матни. ФарПИ, 2017.
2. Усманов Б.С., Обидов З. “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” фанидан фанидан лаборатория машғулотларини бажариш учун услубий қўлланма. 1 – қисм. ФарПИ, 2017.
3. Усманов Б.С., Обидов З. “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” фанидан фанидан лаборатория машғулотларини бажариш учун услубий қўлланма. 2 – қисм. ФарПИ, 2017.
4. Усманов Б.С. “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” фанидан тест вариантлари. ФарПИ, 2017.
5. Усманов Б.С., Обидов З. “Асосий технологик жараён ва қурилмалар” фанидан курс лойиҳасини бажариш учун услубий қўлланма. ФарПИ, 2017.

## **Интернет сайтлари**

1. [www.technology.ru](http://www.technology.ru)
  2. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
  3. [www.bilimdon.uz](http://www.bilimdon.uz)
  4. [www.ref.uz](http://www.ref.uz)
  5. [www.ximik.ru](http://www.ximik.ru)
-