

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК- ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

«Кимё-технология» факультети

«Кимёвий технология» кафедраси

«АСОСИЙ ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁН ВА ҚУРИЛМАЛАР»
фанидан
(Маърузалар матни)



Наманган -2017

Услубий кўрсатма 5320400 – Кимёвий технология (ишлаб чиқариш турлари бўйича) бакалавриатура таълим йўналиши талабалари усҳун мўлжалланган бўлиб, Давлат таълим стандарти, ўқув режаси ва фан дастури асосида тайёрланди.

Мазкур услубий кўрсатма талабаларнинг **“Асосий технологик жараён ва қурилмалар”** фани бўйича мисол ва масалаларни ҳисоблашда ҳамда лабаоратоия ишларида ёрдам беради.

Мазкур кўрсатмалар талабаларнинг **“Асосий технологик жараён ва қурилмалар”** фани бўйича олган назарий ва амалий билимларини тажрибада мустаҳкамлаш, кўриш ҳамда талабаларни адабиётлардан фойдаланиш кўникмасини яратиш имкониятини ҳосил қилади

Муаллифлар:

т.ф.н, доц. А. Хамдамов
катта ўқитувчи Н.М.Қурбанов

Такризчилар:

т. ф. н. О. Эргашев (НамМТИ);
т. ф. н. А. Пўлатов – (НамМПИ)

Услубий кўрсатма **“Кимёвий технология”** кафедрасининг 2017 йил
_____ февралдаги _____ - сонли йиғилишида муҳокама этилди ва мақулланди.

Кафедра мудири:

т.ф.н., доцент Д. Шерқўзиев

Услубий кўрсатма институт ўқув-услубий кенгашининг
2017 йил _____ февралдаги йиғилишида кўриб чиқилди ва _____-сонли баённома билан
тасдиқланди.

Кириш

«Кадрлар тайёрлаш миллий дастури» ни рўёбга чиқаришнинг сифат босқичида таълим муассасаларини малакали педагог кадрлар билан тўлдириш, уларнинг фаолиятида рақобатга асосланган муҳитни вужудга келтириш, таълим муассасаларининг моддий-техника ва ахборот базасини мустаҳкамлаш, ўқув-тарбия жараёнини юқори сифатли ўқув адабиётлари ва илғор педагогик технологиялар билан таъминлаш ишларига алоҳида урғу берилган. Шу мақсадда барча олий таълим муассасаларида замонавий усул, техника ва технология янгиликларини эҳтиборга олган ҳолда фанларнинг асосий мазмун ва моҳиятини акс эттирувчи маърузалар матнларини тайёрлашга киришилди.

Ўзбекистоннинг мустақил тараққиёт стратегиясини, ўзбек халқининг буюк давлат барпо этиш борасидаги мақсад-муддаоларини, миллий истиқлол мафкурасининг моҳиятини талабалар онгига сингдиришда, таълим-тарбия, тарғибот ва ташвиқотнинг самарали усул ва воситаларидан оқилона фойдаланишни тақозо этади.

Бундаги вазифалардан бири ўқув дастурлари, дарсликлар ва қўлланмаларда миллий истиқлол мафкураси ғояларини теран акс эттириш ҳисобланади. Қўйилган вазифалардан келиб чиққан ҳолда замонавий техника ва технологияларни ишлатиш ёки ёш авлодга миллий истиқлол ғоясини етказиш учун жаҳон стандартлари даражасидаги фан ва техника ҳамда илғор тажриба ва технологияларнинг энг сўнгги ютуқларидан бохабар бўлган, рақобатбардош, ўз соҳасининг ҳам илмий, ҳам амалий билган муҳандис ва муҳандис-технолог кадрларни тайёрлада 5320400 – «Кимёвий технология» таълим йўналилари «Ихтисослик фанлари» блокнинг асосий фанларидан бири бўлган **«Асосий технологик жараён ва қурилмалар»** фанини чуқур ўрганиш муҳим аҳамиятга эгадир.

Шундан келиб сҳикиб, ушбу маърузалар матни олий таълимнинг бакалавриатура босқичидаги техник ва касб-таълими йўналишларида ўқитиладиган **«Асосий технологик жараён ва қурилмалар»** фанининг амалдаги дастурлари асосида тайёрланди.

Маърузалар матнидаги материаллар Республикамизнинг **«Асосий технологик жараён ва қурилмалар»** фани ва тегишли кимё саноатларининг истиқболли йўналишларини ҳисобга олган ҳолда ёритилган бўлиб ва саноат миқёсида синовдан ўтказилган янги технологиялар тўғрисида ҳам баён этилган.

Маърузалар матнида талабаларнинг **«Асосий технологик жараён ва қурилмалар»** фанидан ўзлаштирган билимларидан улар ўзларининг ишлаб чиқаришдаги малакавий амалиётлари даврида қўллай олишларига ёрдам берадиган жиҳатларига алоҳида аҳамият қаратилган.

1-Мавзу. Гидростатика асослари

Гидростатика суюқликларнинг мувозанат қонунларини, гидродинамика эса - суюқлик ва газларнинг ҳаракат қонуниятларини ўргатади.

Гидромеханик жараёнлар асосида гидродинамика қонуниятлари ётади ва бу қонуниятлар иссиқлик ва масса алмашилиш, ҳамда кимёвий ва биокимёвий жараёнлар самарадорлигини белгилайди.

Гидравлика асослари

Гидравлика – бу механиканинг бир бўлимидир. Унда, суюқликлар мувозанат ва ҳаракат қонунлари, ҳамда уларни амалиётда қўллаш ўрганилади.

Гидравлика икки бўлимдан иборат: гидростатика ва гидродинамика.

Умумий тушунчалар

Гидравликада суюқлик, газ ва буғларни бирлаштириб, умумий бир ном - суюқлик деб юритилиши қабул қилинган. Бунга сабаб, суюқлик ва газларнинг ҳаракат тезликлари товуш тезлигидан кам бўлганда, уларнинг ҳаракат қонуниятлари бир хил. Шунинг учун, гидравликада суюқлик ҳам, газлар ҳам, буғлар ҳам суюқлик деб юритилади.

Суюқлик ва газларнинг кўпчилик хоссалари бир-бирига яқин ва ўхшаш. Масалан, суюқлик ҳам, газлар ҳам бирор шаклга эга эмас. Ундан ташқари, уларнинг қовушоқликлари орасидаги фарқ жуда кичик. Яна, критик температурадан юқори температураларда суюқлик ва газлар орасидаги фарқ умуман йўқолиб боради.

Гидравликанинг асосий қонуниятларини келтириб чиқариш учун гипотетик **идеал** суюқлик деган тушунчадан фойдаланилади.

Босим таъсирида абсолют сиқилмайдиган, температура ортиши билан зичлиги ўзгармайдиган ва қовушоқликка эга бўлмаган суюқлик **идеал** суюқлик деб аталади.

Лекин, амалиётда суюқликлар босим таъсирида сиқилади, температура таъсирида эса - зичлиги ўзгаради ва маълум қовушоқликка эга бўлади. Бундай суюқликлар **ҳақиқий** (реал) суюқликлар деб номланади.

Ҳақиқий суюқликлар томчили ва эластик (газ ва буғ) суюқликларга бўлинади. Томчили суюқликлар амалда сиқилмайди ва жуда кичик ҳажмий кенгайиш коэффициентига эга. Лекин, эластик суюқликларнинг ҳажми, температура ёки босим таъсирида ўзгаради.

Эйлернинг мувозанат дифференциал тенгламаси

Ушбу тенглама суюқлик мувозанатининг дифференциал тенгламасидан келтириб чиқарилади. Нисбий тинч ҳолатдаги суюқликнинг мувозанатини кўриб чиқамиз. Бу ҳолатда суюқликка массавий кучлар – оғирлик ва энергия кучлари, ҳамда сиртий кучлар – гидростатик босим кучи таъсир этади. Бутун суюқлик ҳажмидан элементар, чексиз кичик **dv** параллелепипед ҳажмини ажратиб оламиз.

Параллелепипеднинг **dx , dy , dz** қирралари **x , y , z** ўқларга параллел жойлашган (1-расм).

Ўртача гидростатик босим кучи, гидростатик босимнинг параллелепипед

томони юзаси кўпайтмасига тенг. 1 –расмдан кўриниб турибдики $p=f(x,y,z)$. Ушбу функционал боғлиқлик кўринишини аниқлаймиз. Бунинг учун элементар параллелепипедга таъсир этувчи ҳамма кучларнинг x, y, z ўқлардаги проекциялар йиғиндисини топамиз. x, y, z ўқлардаги массавий кучларни масса бирлигига нисбатларини X, Y, Z деб белгилаймиз. Ҳажмий кучларнинг x ўқидаги проекцияси $dQ=Xdm$ бўлади, бу ерда $dm=\rho dx dy dz$ ёки $dQ = X\rho dx dy dz$. Статиканинг асосий қонунига биноан, тинч ҳолатдаги суюқликка таъсир этувчи ҳамма кучлар проекциялари йиғиндиси нолга тенг. Шунинг учун, x ўқидаги кучлар проекцияси

$$pd_x d_z - \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) d_y d_z + X p d_x d_y d_z = 0 \quad (1)$$

бу ерда $p dx dz$ – чап томонга таъсир этувчи гидростатик босим кучи;

dp/dx - x ўқи бирор нуқтасидаги гидростатик босимнинг ўзгариши; $(dp/dx)dx$ - dx қирра бўйлаб гидростатик босимнинг ўзгариши.

Қарама-қарши, ўнг томонга таъсир этувчи гидростатик босим $p + (dp/dx)dx$ га тенг ва унинг x ўқида проекцияси:

$$\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dy dz$$

(1) тенгламада қавсни очиб, тегишли қисқартиришларни амалга оширсак, қуйидаги кўринишдаги тенгламани оламиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X = 0$$

Худди шундай усул билан y ва z ўқлари учун мувозанат тенгламаларини келтириб чиқарамиз:

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y = 0$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z = 0$$

Олинган тенгламаларни системалаштирсак:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho X &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho Y &= 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho Z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Ушбу тенгламалар системаси Эйлернинг мувозанат ҳолатининг дифференциал тенгламаси деб аталади.

Гидростатиканинг асосий тенгламаси

(2) нинг ҳар бир тенгламасини dx, dy, dz ларга кўпайтириб ва ҳосил бўлган тенгламалар системасини қўшиб чиқсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$$

Гидростатик босим фақат координатлар функцияси бўлгани учун, тенгламанинг чап қисми босимнинг тўлиқ дифференциалини ифодалайди, яъни:

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz) \quad (3)$$

Агар, суяқлик абсолют тинч ҳолатда бўлса, унда инерцион ва оғирлик кучлар пастга қараб йўналган бўлади, яъни $\mathbf{Z} = -\mathbf{g}$; $\mathbf{X} = 0$; $\mathbf{Y} = 0$. Унда

$$dp = -\rho g dz \quad (4)$$

Ушбу тенглама чап ва ўнг томонларини ρg бўлсак, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$dz + \frac{1}{\rho g} dp = 0$$

Агар, $\rho = \text{const}$ бўлса,

$$dz + d\left(\frac{p}{\rho g}\right) = 0$$

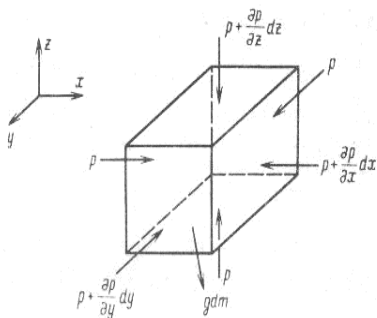
Охирги тенгламани интегралласак, унда

$$z + \frac{p}{\rho g} = \text{const}$$

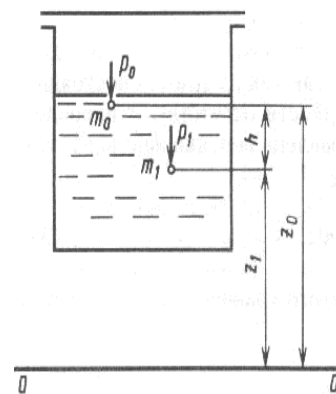
бу ерда z - геометрик напор ёки исталган горизонтал юзага нисбатан олинган нуқтанинг нивелир баландлиги, м; $p/\rho g$ - статик напор ёки пьезометрик босим кучи, м.

Бу тенглама *гидростатиканинг асосий тенгламаси* деб номланади. Гидростатиканинг асосий тенгламасига биноан, тинч ҳолатдаги суяқликнинг исталган нуқтасида геометрик ва статик напорлар йиғиндиси ўзгармас миқдорга тенг.

Масалан, z_0 баландликдаги m_0 суяқлик заррачаси ва z_1 баландликдаги m_1 суяқлик заррачаси учун (5) тенгламани ёзсак, у ушбу кўринишда бўлади (2-расм):



1-расм. Гидростатика учун Эйлернинг Мувоzanат дифференциал тенгламасини келтириб чиқаришга оид.



2-расм. Паскаль қонунини келтириб чиқаришга оид.

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \quad (6)$$

ёки

$$p_1 = p_0 + \rho g(z_0 - z_1) = p_0 + \rho gh \quad (7)$$

(7) тенглама **Паскаль** қонунини ифодалайди. Унга биноан, тинч ҳолатдаги суюқликнинг исталган нуқтасига таъсир этаётган ташқи босим суюқликнинг барча нуқталарига бир хилда узатилади.

Статик напор $p/\rho g$ исталган нуқтадаги босимнинг солиштирма потенциал энергиясини характерлайди. Нивелир баландлик z — солиштириш юзасидан юқорида жойлашган исталган нуқта ҳолатининг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди. Иккала энергия йиғиндиси суюқлик оғирлигига тўғри келадиган потенциал энергияга тенг.

Шундай қилиб, гидростатиканинг асосий тенгламаси (7) энергия сақланиш қонунининг хусусий холи бўлиб, тинч ҳолатдаги суюқликнинг ҳамма нуқталарида солиштирма потенциал энергия қиймати ўзгармас катталиқдир.

(7) тенгламадан фойдаланиб сатх юза ёки бир хил босимли юза тенгламасини келтириб чиқариш мумкин, яъни

$$dp=0 \text{ ва } Xdx+Ydy+Zdz=0.$$

Абсолют тинч ҳолатдаги суюқлик учун тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$-gdz=0 \quad \text{ёки} \quad dz=0; \quad z=const$$

Шундай қилиб, абсолют тинч ҳолатдаги суюқликнинг сатхи текис, горизонтал юза кўринишида бўлади.

Гидростатиканинг асосий тенгламасини амалиётда қўллаш

Туташган идишлар. Иккита ёпиқ **A** ва **B** идишлар зичликлари хар хил p_1 ва p_2 аралашмайдиган суюқликлар билан тўлдирилган (3-расм).

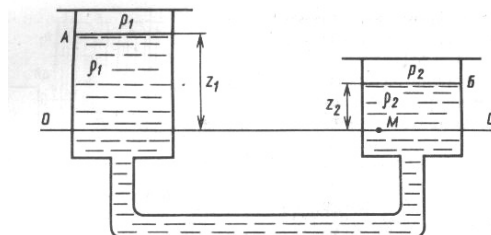
A идишдаги босим p_1 , **B** даги эса - p_2 . Ихтиёрий **O-O** текислигини ўтказамиз ва унда **M** нуқта танлаб, унинг учун мувозанат тенгламасини тузамиз:

$$p_1 + \rho_1 g z_1 = p_2 + \rho_2 g z_2 \quad \text{ёки} \quad p_1 - p_2 = \rho_2 g z_2 - \rho_1 g z_1 \quad (8)$$

бу ерда z_1 ва z_2 — **A** ва **B** идишларда нисбатан **M** нуқта сатхидан суюқлик юзасигача, бўлган баландлиги.

Агар очиқ ёки ёпиқ идишларда бир хил зичликга эга суюқликлар бир босим остида, яъни $p_1 = p_2$ бўлса, унда, (8) тенглама қуйидаги ҳолатга келади — $z_1 = z_2$.

Шундай қилиб, туташган идишлар зичлиги бир хил суюқлик билан тўлдирилган ва бир хил босим остида бўлса, унда идишлар шакли ва кўндаланг кесимидан қатъий назар, суюқлик сатхи бир хил бўлади.



3-расм. Туташган идишлар.

Туташган идишларнинг
бу хоссасидан техникада

қурилма ва идишларнинг ичидаги суюқлик баландлигини аниқлашда фойдаланилади.

Агар, идишлар бир хил суюқлик билан тўлдирилган, лекин улардаги босимлар хар хил бўлса, (8) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$z_2 - z_1 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

Агар, идишларда босим бир хил, лекин турли хил суюқликлар солинган бўлса, (8) тенглама ушбу ҳолатга келади:

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Идиш девори ва тубига суюқлик босими суюқлик ичидаги ихтиёрий нукта ва тубидаги гидростатик босим гидростатиканинг асосий тенграмаси (8) ёрдамида топилади:

$$p = p_0 = \rho g(z_0 - z)$$

Ушбу ҳолатда идишнинг горизонтал туби учун $z_0 - z = \text{const}$. Идиш ичидаги суюқлик баландлигини H орқали ифодаласак, қуйидаги формулани оламиз:

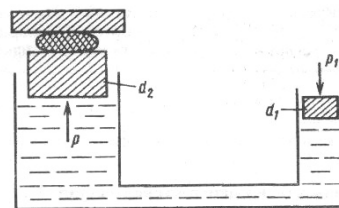
$$p = p_0 + \rho g H$$

Идиш тубидаги босим кучи $P = pF$ га тенг, бу ерда F -идиш тубининг юзаси.

Охирги формуладан, идишнинг горизонтал тубига тушаётган суюқликнинг босим кучи, унинг шакли ва ичидаги суюқлик хажмига боғлиқ эмаслиги келиб чиқади.

Гидравлик пресс. Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда турли материалларни пресслаш, грануллаш ва брикетлаш учун гидравлик пресслар ишлатилади. Бундай пресслар ишлаш принципи поршеннинг юзаси босим кучининг пропорционаллигига асосланган.

Агар, d_1 диаметрли поршенга p_1 куч таъсир эттирилиб p гидростатик босим ҳосил қилинса, Паскаль қонунига кўра, d_2 ўлчамли катта поршенга ҳам p катталиқда босим таъсир этади (4-расм)



4-расм. Гидравлик пресс.

d_2 ўлчамли поршенга таъсир этувчи босим кучи:

$$P_2 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_2^2}{4}$$

d_1 ўлчамли поршенга эса,

$$P_1 = \frac{p \cdot \pi \cdot d_1^2}{4}$$

Биринчи тенграмани иккинчисига бўлсак, қуйидаги тенграмани оламиз:

2- Мавзу. Гидродинамика. Асосий тушунчалар

Суюқликларнинг труба қувурлари ва каналларда оқиши, ҳаракатга келтирувчи куч, яъни босимлар фарқи таъсирида рўй беради. Ушбу куч насос компрессорлар, айрим ҳолларда суюқликлар зичлиги ёки сатхининг фарқи ёрдамида ҳосил қилинади.

Маълум миқдордаги суюқликни зарур тезликда узатиш учун босимлар фарқини аниқлаш керак. Ундан ташқари, узатиш учун керакли энергия миқдорини ёки босимлар фарқи маълум бўлса, суюқлик сарфи ва тезлиги топилади. Юқорида кўрсатилганларни амалга ошириш учун гидродинамика қонуниятларини билиш даркор.

Гидродинамикада ташқи ва ички масалалар бўлади. Труба ва каналлар ичидаги суюқликнинг ҳаракати - бу гидродинамиканинг ички масаласидир. Турли жисмлар юзасида суюқликнинг ҳаракати – бу гидродинамиканинг ташқи масаласидир.

Суюқлик ҳаракатининг асосий характеристикалари

Суюқлик сарфи ва тезлиги. ўзгармас кўндаланг кесимли трубада суюқлик ҳаракатини кўриб чиқамиз.

Вақт бирлигида кўндаланг кесим орқали оқиб ўтаётган суюқлик миқдорида **суюқлик сарфи** дейилади. Агар суюқлик сарфи $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{м}^3/\text{соат}$ ўлчов бирликларида ўлчанса - **ҳажмий сарф**, $\text{кг}/\text{с}$, $\text{кг}/\text{соат}$ ларда ўлчанса - **массавий сарф** деб ҳисобланади.

Оқим кўндаланг кесимининг турли нуқталарида суюқлик заррачаларининг тезлиги бир хил бўлмайди.

Труба ўқи атрофида суюқлик тезлиги максимал, унинг деворига яқинлашган сари минимал қийматга тенг бўлади. Лекин, кўпчилик ҳолларда труба кўндаланг кесими орқали оқиб ўтаётган суюқлик тезликларининг тақсимланиш қонуниятлари номаълум ёки уни аниқлаш жуда қийин. Суюқликларнинг ҳақиқий тезлигини ўлчаш жуда мураккаб бўлгани учун, муҳандислик ҳисоблашларда заррачалар ўртача тезлиги ишлатилади. Суюқлик ҳажмий сарфи Q ($\text{м}^3/\text{с}$) нинг труба кўндаланг кесим юзаси F (м^2) нисбатига **ўртача тезлик** w ($\text{м}/\text{с}$) деб номланади:

$$w = \frac{Q}{F} \quad (9)$$

Бундан ҳажмий сарф,

$$Q = w \cdot F \quad (10)$$

Массавий сарф G ($\text{кг}/\text{с}$) эса, қуйидаги формуладан аниқланади:

$$G = \rho \cdot w \cdot F \quad (11)$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$

Шуни алохида таъкидлаш керакки, юқорида келтирилган формулалар исталган шаклдаги кўндаланг кесимли каналлар учун ҳам тўғри келади.

Гидравлик радиус ва эквивалент диаметр. Думалоқ бўлмаган, исталган шаклдаги кўндаланг кесимли трубалардан суюқлик оқиб ўтганда, асосий чизиқли ўлчам сифатида гидравлик радиус ёки эквивалент диаметри қабул қилинади.

Труба ёки канал ичида ҳаракат қилаётган оқим кўндаланг кесим юзасининг периметрига нисбати *гидравлик радиус* r_z (м) деб номланади:

$$r_z = \frac{F}{\Pi} \quad (12)$$

бу ерда F - суюқлик оқими кўндаланг кесим юзаси, м²; Π - ҳўлланган периметр, м.

Ички диаметри d , кўндаланг кесим юзаси $F = \pi d^2/4$ ва ҳўлланган периметри $\Pi = \pi d$ бўлган думалоқ труба учун гидравлик радиус ушбу формуладан топилади:

$$r_z = \frac{F}{\Pi} = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{\pi d} = \frac{d}{4} \quad (13)$$

Гидравлик радиус орқали ифодаланган *эквивалент диаметр* қуйидаги кўринишга эга

$$d = d_z = 4r_z$$

Агар, (13) тенгламани инобатга олсак,

$$d_z = \frac{4 \cdot F}{\Pi}$$

Томонлари a ва b бўлган тўртбурчак кўндаланг кесимли суюқлик билан тўлдирилган каналлар учун гидравлик радиус ушбу тенгламадан аниқланади:

$$r_z = \frac{F}{\Pi} = \frac{a \cdot b}{2a + 2b} = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$$

эквивалент диаметр эса

$$d_z = 4r_z = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

Ички диаметри d_u ва ташқи диаметри d_t бўлган иккита трубалар ҳосил қилган ҳалқасимон трубалараро бўшлиқнинг кўндаланг кесим юзаси учун эквивалент диаметр қуйидаги тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$d_s = \frac{4 \cdot F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_T^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_u^2}{4} \right)}{\pi \cdot d_T + \pi \cdot d_u} = \frac{d_T^2 - d_u^2}{d_T + d_u} = d_T - d_u$$

Думалоқ труба учун $d_s = d$.

Турғун ва турғунмас (нотурғун) оқимлар. Суюқлик ҳаракат қонуниятларига қараб турғун ва нотурғун оқимлар бўлади.

Суюқлик оқимининг турғун ҳаракати даврида вақт ўтиши билан суюқлик заррачаларининг тезлиги ва бошқа омиллар (босим, зичлик, температура ва хоказолар) ўзгармайди ($dw/d\tau=0$, $dp/d\tau=0$ ва хоказо), лекин оқимда кузатилаётган нуқта ҳолатига боғлиқ:

$$w = f_1(x, y, z); \quad p = f_2(x, y, z); \quad h = f_3(x, y, z)$$

бу ерда w - суюқлик тезлиги; p - босим; h - оқим чуқурлиги.

Турғунмас ҳаракат даврида тезлик, босим ва оқим чуқурлиги координата ва вақтга боғлиқ бўлади:

$$w = f_1(x, y, z, \tau); \quad p = f_2(x, y, z, \tau); \quad h = f_3(x, y, z, \tau)$$

Оқимларнинг турғун ҳаракати узлуксиз, нотурғун эса - даврий жараёнлар учун характерлидир.

Турғун ҳаракат икки хил бўлади: текис ва нотекис.

Оқим узунлиги бўйича унинг тезлиги, босими, чуқурлиги ва шакли ўзгармаса, суюқликнинг ҳаракати текис, лекин буларнинг акси бўлса – нотекис ҳаракати содир бўлади.

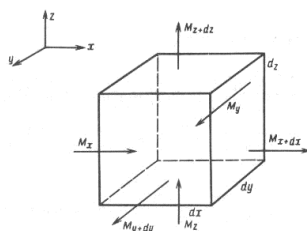
Оқим ўртасида (ўқида) суюқлик ҳаракатининг тезлиги максимал, девор атрофидаги оқимчаларда эса - минимал бўлади. Оқимда тезликлар тақсимланиши суюқлик ҳаракат режимларига боғлиқ.

Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси

Узлуксиз ҳаракат қилаётган шароитда суюқлик оқимидаги тезликлар орасидаги боғлиқликни кўриб чиқамиз.

Бунинг учун оқимдан хажми $dV = dx, dy, dz$ бўлган элементар параллелепипедни ажратиб оламиз (5-расм).

x ўқи бўйлаб ҳаракат тезлигининг ташкил қилган w_x деб белгилаймиз. Унда, параллелепипеднинг $dy \cdot dz$ чап томонидан чексиз қисқа вақт ичида унга қуйидаги



5-расм. Суюқлик оқимининг узлуксизлик тенгламасини яъни чиқаришга оид.

миқдорда суюқлик киради:

$$M_x = \rho w_x \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги.

Суюқлик умуман сиқилмайди деган тахминни қабул қиламиз. Унда, суюқлик зичлиги ρ ўзгармас бўлади.

Параллелепипеднинг қарама-қарши томонида суюқликнинг тезлиги $\frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$ қийматга фарқ қилади ва қуйидагига тенг бўлади:

$$w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx$$

ўнг томондан $d\tau$ вақт ичида оқиб чиққан суюқлик миқдори қуйидагига тенг:

$$M_{x+dx} = \rho \left(w_x + \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Параллелепипедда ортиб бораётган масса миқдори

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\rho \frac{\partial w_x}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

га тенг бўлади.

y ва z ўқлари бўйлаб, суюқлик массасининг ўзгариши қуйидагига тенг бўлади:

$$dM_y = -\rho \frac{\partial w_y}{\partial y} \cdot dy \cdot dx \cdot dz \cdot d\tau$$

$$dM_z = -\rho \frac{\partial w_z}{\partial z} \cdot dz \cdot dx \cdot dy \cdot d\tau$$

Параллелепипедда $d\tau$ вақт бирлиги ичида суюқлик массаси умумий миқдорининг ўзгариши координата ўқлари бўйлаб, унинг ўзгаришлари йиғиндисига тенг:

$$dM = dM_x + dM_y + dM_z = -\rho \cdot \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$$

Агар, $\rho = \text{const}$ бўлганда, параллелепипед ичидаги суюқлик массаси ўзгармас бўлиши керак. Демак, массанинг умумий ўзгариши $dM=0$ ёки

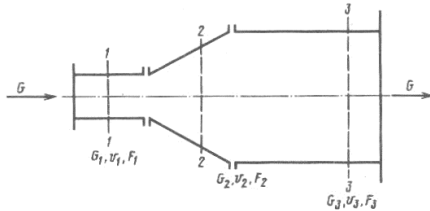
$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0 \quad (14)$$

ёки $\text{div} \mathbf{w} = 0$, бу ерда $\frac{\partial w_x}{\partial x}, \frac{\partial w_y}{\partial y}, \frac{\partial w_z}{\partial z} - x, y, z$ ўқлари йўналишида тезликларнинг

ўзгариши. Ушбу тенглама сиқилмайдиган суёқлик оқими узлуксизлигининг дифференциал тенгламаси.

(14) тенгламани интеграллагандан кейин, суёқликнинг турғун харакати пайтида труба қувурининг ҳар бир қўндаланг кесимидан вақт бирлигида бир хил миқдорда суёқлик оқиб ўтади (6-расм).

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = \text{const} \quad (15)$$



6-расм. Суёқлик оқимининг узлуксизлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид

бу ерда G - массавий сарф, кг/с; $G = \rho w F$.
Томчили, сиқилмайдиган суёқликлар учун $\rho = \text{const}$ бўлгани учун (15) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$w_1 F_1 = w_2 F_2 = w_3 F_3 = \text{const} \quad (16)$$

(16) тенгламадан кўриниб турибдики, томчили суёқлик харакатининг тезлиги трубанинг қўндаланг кесим юзасига тескари пропорционалдир:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

Шундай қилиб, (16) тенглама масса сақланиш қонунининг хусусий холи бўлиб, суёқлик оқимининг моддий балансини ифодалайди.

Агар, суёқлик таркибида ҳаво ёки сув бўғи, ёки ҳаво бўшлиқлари пайдо бўлса, оқим узлуксизлиги бузилади.

Суёқлик харакатининг Эйлер дифференциал тенгламаси

Оқимнинг исталган нуқтасида суёқлик харакатининг тезлиги ва босим орасидаги боғлиқликни Л.Эйлернинг ҳаракат тенгламаси ёрдамида ифодалаш мумкин.

Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун турғун ҳаракат қилаётган идеал суёқлик оқимидан $dV = dx dy dz$ ҳажмли элементар параллелепипед ажратиб оламиз (6-расм).

Параллелепипедга таъсир этувчи оғирлик ва босим кучларининг координат ўқларидаги проекциялари қуйидагича бўлади:

$$x \text{ ўқига} \quad - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$y \text{ ўқига} \quad - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$z \text{ ўқига} \quad - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz$$

Динамиканинг асосий принципига биноан, ҳаракатдаги элементар суёқлик ҳажмига таъсир этувчи ҳамма кучлар проекцияларининг йиғиндиси суёқлик массасини унинг тезланиши кўпайтмасига тенг.

Параллелепипед ҳажмидаги суёқлик массаси:

$$dm = \rho dx dy dz$$

Агар, элементар заррача тезлиги w , унинг тезланиши $dw/d\tau$ бўлса, тезланишнинг координатлар ўқидаги проекциялари қуйидагича бўлади:

$$\frac{dw_x}{d\tau}; \quad \frac{dw_y}{d\tau}; \quad \frac{dw_z}{d\tau}.$$

бу ерда $w_x, w_y, w_z - x, y, z$ ўқлардаги тезликлар.

Координата ўқларига нисбатан тезланишнинг проекциялари $\partial w_x / d\tau, \partial w_y / d\tau$ ва $\partial w_z / d\tau$ бўлади.

Суюқлик оқими турғун ҳаракат қилаётгани сабабли $\partial w_x / d\tau = 0; \partial w_y / d\tau = 0; \partial w_z / d\tau = 0$.

Бунда, тезликнинг вақт ўтиши билан ўзгариши, фазода олинган нуқта тезлигининг ўзгаришини эмас, балки суюқлик элементар заррачасининг фазода бир нуқтадан иккинчисига ўтганда x, y ва z ўқларга мос келадиган тезлик миқдори w_x, w_y ва w_z ларнинг ўзгаришини кўрсатади. Динамиканинг асосий принципига биноан:

$$\rho dx dy dz \frac{dw_x}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz$$

$$\rho dx dy dz \frac{dw_y}{d\tau} = - \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

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

қисқартиришлардан сўнг эса, ушбу тенгламалар системасини оламиз:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Бу тенгламалар системаси турғун оқимлар учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгламаси.

3- Мавзу. Оқимнинг ҳаркат хартенгламаси Ҳақиқий суюқлик оқими учун Бернулли тенгламаси

Турғун оқимлар учун Эйлернинг дифференциал тенгламалар системасини ечиш гидродинамикада катта аҳамиятга эга ва жуда кўп ишлатиладиган Бернулли тенгламасини олиш имконини беради.

Агар, (2.16) тенгламалар системасининг чап ва ўнг томонларини dx, dy, dz ларга кўпайтириб ва суюқлик зичлиги ρ га бўлсак, ушбу ифодаларни оламиз:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{d\tau} \cdot dw_x &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} dx \\ \frac{dy}{d\tau} \cdot dw_y &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} dy \\ \frac{dz}{d\tau} \cdot dw_z &= -gdz - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} dz\end{aligned}\quad (18)$$

(18) тенгламалар системасидаги **$dx/d\tau$, $dy/d\tau$** ва **$dz/d\tau$** нисбатлар тегишли координата ўқларидаги **w_x , w_y** ва **w_z** тезликларнинг ўзгаришини ифодалайди. Ушбу нисбатларни тезлик орқали ифодалаб, ўз ўрнига қўйсак:

$$w_x dw_x + w_y dw_y + w_z dw_z = -gdz - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)$$

Тенгламанинг чап томонидаги қўшилувчилар қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$w_x dw_x = d\left(\frac{w_x^2}{2}\right); \quad w_y dw_y = d\left(\frac{w_y^2}{2}\right); \quad w_z dw_z = d\left(\frac{w_z^2}{2}\right).$$

Уларнинг йиғиндиси эса,

$$d\left(\frac{w_x^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_y^2}{2}\right) + d\left(\frac{w_z^2}{2}\right) = d \cdot \left(\frac{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}{2} \right) = d\left(\frac{w^2}{2}\right)$$

бу ерда $w = |\mathbf{w}|$ - тезлик векторининг катталиги бўлиб, **w_x , w_y** ва **w_z** ўқлари учун ўз қийматига эга.

Тенгламанинг ўнг томонидаги ифода босимнинг тўла дифференциали **dp** га тенг. Турғун оқимлар учун босим фазодаги нуқта ҳолатига боғлиқ бўлиб, исталган нуқта учун вақт бирлигида ўзгармайди.

Демак,

$$d\left(\frac{w^2}{2}\right) = -\frac{dp}{\rho} - gdz$$

Ушбу тенгламанинг иккала томонини эркин тушиш тезланиши **g** га бўлсак ва хамма ифодаларни чап томонга ўтказсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$d \cdot \left(\frac{w^2}{2g} \right) + \frac{dp}{\rho g} + dz = 0 \quad (19)$$

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

$$z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{w^2}{2g} = \text{const} \quad (20)$$

Ушбу кўринишдаги ифода идеал суюқликлар учун **Бернулли тенгламаси**

дейилади. $\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{w^2}{2g}\right)$ катталиқка **тўлиқ гидродинамик напор** ёки **гидродинамик напор** деб номланади.

Бернулли тенгламасига биноан, идеал суюқликларнинг турғун ҳаракатида геометрик, статик ва динамик напорлар йиғиндиси умумий гидродинамик напорга тенг бўлиб, оқим бир трубадан иккинчисига ўтганда ҳам ўзгармайди.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \quad (21)$$

Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий холи бўлиб, оқимнинг энергетик балансини характерлайди. z - нивелир баландлик ёки геометрик напор (h_z , м) деб аталади ва нуқта ҳолатининг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди. $\frac{p}{\rho g}$ - босим напори ёки пьезометрик напор (h_c , м) деб номланади ва босимнинг солиштирма потенциал энергиясини ифодалайди.

$\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$ йиғинди тўлиқ гидростатик ёки статик напор (h_{cm} , м) дейилади ва ушбу нуқтадаги тўлиқ солиштирма потенциал энергияни ифодалайди.

$\frac{w^2}{2g}$ - тезлик ёки динамик напор (h_d , м) деб номланади ва у ушбу нуқтадаги солиштирма кинетик энергияни характерлайди.

Демак, турғун характердаги суюқлик учун потенциал $\left(z + \frac{p}{\rho g}\right)$ ва кинетик $\left(\frac{w^2}{2g}\right)$ энергиялар йиғиндиси оқимнинг исталган кўндаланг кесимида ўзгармас қийматга эга.

Маълумки, ҳақиқий (реал) суюқликларда ички ишқаланиш кучлари мавжуд бўлиб, улар труба ёки каналларда ҳаракат қилганда, бир қисм напор бу кучни енгишга сарф этилади.

Ҳақиқий суюқликлар учун Бернулли тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_u \quad (22)$$

ёки

$$h_z + h_c + h_g + h_u = H$$

бу ерда h_u - ишқаланиш кучини енгиш учун сарфланган напор.

Агар, суюқлик горизонтал трубада ҳаракат қилаётган бўлса, унда геометрик напор нолга тенг бўлади, яъни $h_z=0$. Унда

$$h_c + h_d + h_u = H \quad (23)$$

Шундай қилиб, Бернулли тенгламаси энергия сақланиш қонунининг хусусий холи бўлиб, оқимнинг энергетик балансини ифодалайди.

Суюқлик ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси

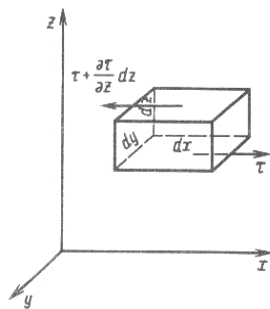
Суюқлик оқими ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси 1845

йили келтириб чиқарилган.

Бу тенгламани келтириб чиқариш учун қуйидаги тахминлар қабул қилинади: суюқлик сиқилмайди ва кенгаймайди.

қовушоқ, ҳақиқий (ҳақиқий) суюқликлар ҳаракатида оқим заррачаларига оғирлик ва гидростатик кучлардан ташқари, ишқаланиш кучлар таъсирини топиш учун ҳаракатдаги ҳақиқий суюқлик оқимида чексиз кичик параллелепипед шаклидаги элементар заррача ажратиб оламиз (7-расм). Ишқаланиш кучлари параллелепипеднинг устки ва пастки томонлари $d\mathbf{F} = d\mathbf{x} \cdot d\mathbf{y}$ юзаларига уринма бўйлаб, таъсир этмоқда.

Агар параллелепипед пастки томонида уринма бўйлаб кучланиш τ бўлса, устки томонида эса:



7-расм. Навье-Стокс тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

$$\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz$$

бу ерда $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$ параллелепипед z ўқидаги пастки томон уринма кучланишининг ўзгаришини ифодалайди.

x ўқига таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг проекцияси қуйидагига тенг бўлади:

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

Ушбу тенгламага уринма кучланиши $\tau = \mu \frac{\partial w_x}{\partial z}$ ни қўйсак, қуйидагича кўринишга эга бўламиз:

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

Умумий ҳолатда, агар уч ўлчовли оқим w_x тезлигининг ташкил этувчиси фақат z ўқи йўналишида эмас, балки координатанинг ҳамма уч ўқи йўналишида ўзгаради. Унда x ўқига бир хил таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг проекцияси ушбу кўринишда бўлади:

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

Координата ўқлари бўйлаб иккинчи хосилалар йиғиндиси Лаплас оператори деб номланади:

$$\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} = \nabla^2 w_x \quad (24)$$

Чексиз кичик элементар параллелепипед шаклдаги заррачага таъсир этувчи оғирлик, гидростатик ва ишқаланиш кучлари проекцияларининг йиғиндиси динамиканинг асосий принципига биноан қуйидагига тенг:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{dw_x}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 w_x \\ \rho \frac{dw_y}{d\tau} &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 w_y \\ \rho \frac{dw_z}{d\tau} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w_z \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

(25) тенгламалар системасида ρg -оғирлик кучи, $\partial p / \partial x$, $\partial p / \partial y$, $\partial p / \partial z$ - гидростатик босим ўзгариши Лаплас операторини μ га кўпайтмаси – ишқаланиш кучларининг суёқлик оқимиға таъсирини характерлайди. Тенгламалар системасининг чап томонлари инерция кучларининг таъсирини ифодалайди.

Келтириб чиқарилган (24) тенгламалар системаси трубада оқаётган ҳақиқий суёқлик оқимининг турғун ҳаракатини ифодаловчи Эйлер дифференциал тенгламаси дейилади.

(25) даги $\mu = 0$ бўлганда, идеал суёқлик оқимларининг турғун ҳаракатини ифодаловчи Эйлернинг дифференциал тенгламасини олиш мумкин.

Ҳақиқий суёқлик ҳаракатини тўла ифодалаш учун тенгламалар системасини келтириб чиқаришда суёқликнинг сиқилувчанлиги ва температура таъсирида кенгайишини, ҳамда оқимнинг узлуксизлигини ҳисобга олиш зарур.

Лекин, математик ифода мураккаблиги учун умумий кўринишдаги Навье-Стокс дифференциал тенгламалар системасини ечиш қийин. Шунинг учун ушбу тенгламалар системаси айрим хусусий ҳоллар учунгина ечилган. Бунинг учун, бу дифференциал тенгламалардан ўхшашлик назарияси асосида бир қатор ўхшашлик критерийлари келтириб чиқарилади. Олинган критерийлар жараёнларни ҳисоблашда ишлатилади.

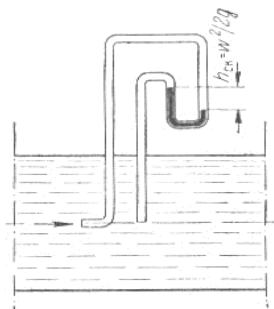
Бернулли тенгламасининг амалий қўлланилиши

Кимё ва озиқ-овқат саноатларида суёқликлар тезлиги, сарфи ва тешиклардан оқиб чиқишини аниқлашда Бернулли тенгламасидан кенг кўламда фойдаланилади.

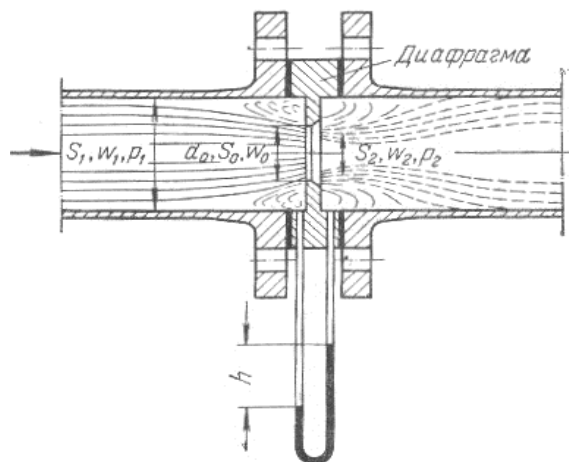
Суёқлик тезлиги ва сарфини ўлчаш принциплари. Саноатда ва илмий тадқиқотларда суёқлик тезлиги ва сарфини ўлчаш учун дрессел асбоблар ва пневмометрик трубалар ишлатилади. Пито-Прандтл пневмометрик трубкасининг тузилиши 8-расмда кўрсатилган.

Трубкаларнинг ҳар бир кўндаланг кесимида суёқлик сатхларининг фарқи, унинг ўқидаги нуктанинг тезлик напори h_t ни ифодалайди. Трубкалардаги ишчи суёқлик сатхларини U -симон дифференциал манометр ёрдамида ўлчаш қулай.

U-симон дифманометр ичидаги суюқлик ишчи суюқлик билан аралашмайди ва унинг зичлиги ишчи суюқликниқидан анча катта бўлади. Агар, трубадаги суюқлик



8-расм. Пневмометрик трубка ёрдамида суюқлик тезлигини ўлчаш.



9-расм. ўлчов диафрагмаси

бирор тезликка эга бўлса, *U*-симон дифманометрда суюқлик *h* баландликка кўтарилиши динамик напорни кўрсатади, яъни

$$h_0 = \frac{w^2}{2g}$$

Динамик напор қийматидан тезликни топиш мумкин:

$$w = \sqrt{2gh} \quad (26)$$

Пито-Прандтл трубкасининг оқими йўналишида бўлиши, суюқлик тезлигининг умумий тақсимланишига таъсир этади. Шунинг учун формулага тегишли тузатиш коэффициенти киритилади:

$$w = \alpha \sqrt{2gh} \quad (27)$$

Формуладаги α сарф коэффициенти нинг қиймати хар бир ўлчов асбоби ва пневмометрик трубкалар учун тажриба йўли билан аниқланади. Унинг қиймати Рейнольдс критерийси ва дроссель асбоби диаметри d_0 нинг труба диаметри d_1 нисбатига боғлиқдир:

$$\alpha = f\left(\text{Re}, \frac{d_0}{d_1}\right)$$

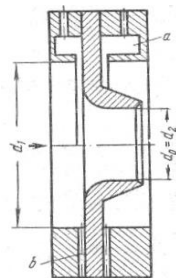
Суюқлик сарфи эса секундли сарф тенгламасидан топилади:

$$V = wF$$

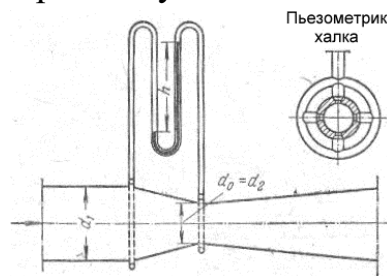
Бу усулда суюқлик тезлиги ва сарфини аниқлаш осон, лекин пневмометрик трубкани труба қувурининг ўқиға ўрнатиш қийинлиги учун юқори аниқликка эришиб бўлмайди.

Шунинг учун халқ хўжалигининг турли сохаларида суюқлик ва тезликни ўлчаш учун дроссель асбоблар қўлланилади.

Бу асбобларнинг ишлаш принципи трубаларнинг кўндаланг кесими ўзгариши



10-расм ўлчов соплоси.



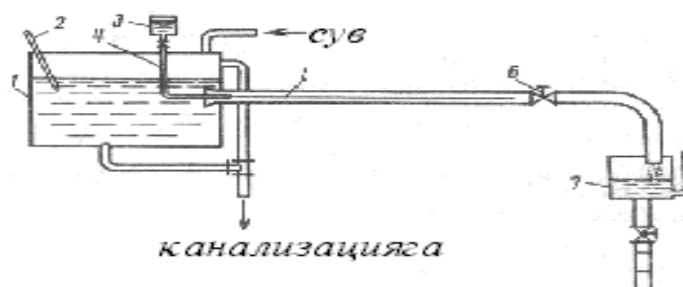
11-расм. Вентури трубаси

билан динамик босимлар фарқининг ўзгаришига асосланган. Дроссель асбоблар сифатида ўлчов диафрагмаси, соплоси ва Вентури трубалари ишлатилиши мумкин.

ўлчов диафрагмаси юпқа дискдан ясалади ва ўртасида думалок кўндаланг кесимли тешик бўлади (10-расм).

ўлчов соплоси насадка бўлиб, кириш қисми аста-секин торайиб борадиган қайилишдан ва чиқиш қисми-цилиндрик шаклга эга. *U*-симон дифференциал манометр халқасимон *a* ёки *b* каналларга уланади (10-расм).

Вентури трубасида ўлчовчи диафрагма ва соплоларга нисбатан напор ва босимнинг йўқотилиши кам бўлади (11-расм). Бунга сабаб, Вентури трубасида диаметр *d* аста-секин торайиб, кейин эса аста-секин кенгайиб, дастлабки ҳолати *d* ўлчамига қайтишдир. Лекин, бу асбобнинг камчилиги шундаки, унинг узунлиги жуда катта. Бу эса, унинг саноатда кенг қўлланилишини маълум миқдорда чеклайди.



12-расм. Рейнольдс қурилмаси.

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

Суюқлик ҳаракати режимлари

Суюқлик ҳаракати режимлари биринчи бор тажриба қурилмасида 1883 йили инглиз олими Рейнольдс томонидан ўрганилган (12-расм).

Суюқликнинг бак 1 дан оқиб чиқиши ўзгармас напорда содир бўлади. Суюқлик сарфи эса, кран 6 ёрдамида ростланади ва ўлчов идиши 7 да унинг миқдори аниқланади. Труба 5 нинг ўқи бўйлаб капилляр трубка 4 ўрнатилади ва у орқали рангли суюқлик узатилади.

Тажриба пайтида труба 5 га асосий суёқлик билан бирга рангли суёқлик юборилади. Труба 5 ичида тезликлар кичик бўлганда, рангли суёқлик оқимчаси оқим ўқи бўйлаб ингичка чизик бўлиб чўзилади ва бир текис ҳаракат қилаётганини кўрамиз. Агар, турли жойларда ўрнатилган бир нечта турли капилляр найчалардан асосий оқимга ўрнатилган рангли суёқлик юборсак, бир-бири билан йўналишлари кесишмайдиган оқимчаларни кузатамиз. Труба ичида суёқлик оқимчаларининг параллел йўналиш бўйлаб, яъни техникада **ламинар режим** деб номланувчи, суёқликнинг оқимчали ҳаракати содир бўлади.

Оқимда тезликлар тақсимланиши парабола шаклидаги чизик билан ифодаланади. Бунда, максимал тезлик оқимнинг ўқида бўлади, минимал тезлик эса - труба девори яқинидаги қатламларга тўғри келади. Труба деворига ёпишиб турган юпқа суёқлик қатлами- **чегаравий қатлам** деб номланади.

Агар, суёқлик тезлигини янада оширсак, рангли суёқлик тўлқинсимон ҳаракатланиб бутун суёқлик оқимига аралашиб, кўринмай кетади. Бунга сабаб, оқимнинг айрим заррачалари нафақат труба ўқи бўйлаб горизонтал, чизикли ҳаракат қилади, балки суёқлик заррачалари бир-бири билан аралашиб, кўндаланг йўналишда тартибсиз ҳаракатланади. Натижада бутун суёқлик массаси индикатор рангига бўялади. Суёқликнинг бундай тўлқинсимон, тартибсиз ҳаракат **турбулент режим** деб аталади. Оқимда тезликлар тақсимланиш чўққиси кенг, параболасимон чизик билан ифодаланади.

Инглиз физик-олими Рейнольдс тажрибаларда суёқлик тезлиги, қовушоқлиги, зичлиги ва труба диаметрини ўзгартирди. Тажрибалар тахлили асосида олим қуйидагича хулосага келди: суёқлик оқимининг ламинар режимдан турбулент режимга ўтиши суёқлик массавий тезлиги ρw , труба диаметрига тўғри ва суёқлик қовушоқлиги μ га тескари пропорционалдир. Олим томонидан таклиф этилган ўлчамсиз комплекс Рейнольдс критерийси деб юритилади.

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{wd}{\nu} \quad (28)$$

бу ерда $\nu = \mu/\rho$ - кинематик қовушоқлик, м²/с.

Рейнольдс критерийсининг сон қийматларига қараб, суёқлик ҳаракат режими аниқланади. Ундан ташқари, ушбу критерий қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини характерлайди. Бир хил труба диаметри ва суёқлик тезлигида, юқори зичлик ва кичик қовушоқликка эга суёқликлар турбулент режимга тезроқ чиқади. Ламинар режимдан турбулент режимга ўтиш Рейнольдс критерийсининг критик қийматларида содир бўлади.

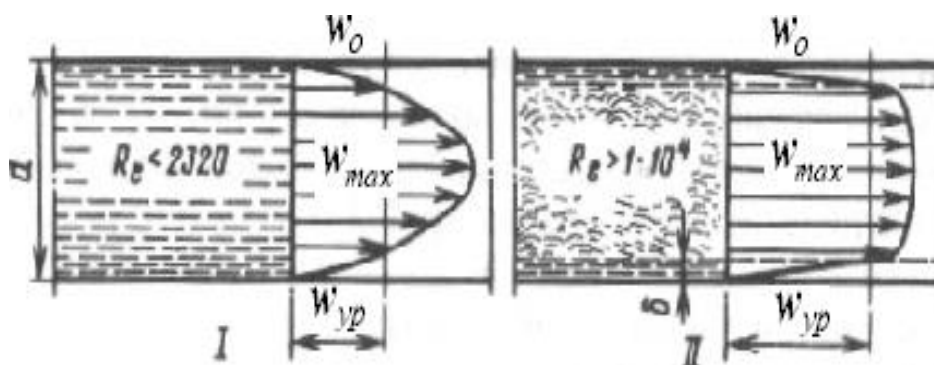
Текис трубаларда суёқлик оқими ҳаракати учун $Re_{кр} = 2320$. Агар, $Re < 2320$ бўлса, турғун ламинар режим бўлади. Агар, $2320 < Re < 10000$ бўлса, суёқлик ҳаракати ўтиш режимида тўғри келади.

Суёқлик оқимининг нотурғун ҳаракатини ўтиш режими характерлайди. Бу режимда икки ҳаракат тури бир вақтнинг ўзида содир бўлиши ёки биридан иккинчисига осон ўтиши мумкин.

$Re > 10000$ бўлса, турғун турбулент режими бўлади.

Ламинар ва турбулент режимларда труба кесимида тезликларнинг тақсимланиши 13-расмда кўрсатилган.

Ньютон ички ишқаланиш қонунига бўйсунмайдиган суяқликлар ҳаракатини модификациялашган Рейнольдс критерийси характерлайди:



13-расм. Ламинар (I) ва турбулент (II) ҳаракат режимларида труба кесимида тезликларнинг тақсимланиши.

$$Re^* = \frac{d^n \cdot w^{2-n} \cdot \rho}{8^{n-1} k} \quad (29)$$

бу ерда n - оқим индекси; k - консистентлик кўрсаткичи.

Суяқ озик-овқат маҳсулотлари учун турғун ламинар режим $Re^* \ll 1$ бўлганда содир бўлади.

Ламинар ҳаракат қонунлари

Оқимчали ҳаракат гипотезасидан келиб чиққан ҳолда, шуни таъкидлаш мумкинки, қатламлар орасидаги ишқаланиш кучлари таъсирида ҳар бир қатламдаги суяқлик заррачасининг тезлиги аввалгидан фарқ қилади.

Суяқлик қатламлари орасида уринма кучланишлар бўлгани учун ишқаланиш кучлари ҳосил бўлади. Ньютон қонунига биноан:

$$\tau = \pm \mu \frac{dw_r}{dr}$$

Труба деворида уринма кучланиш максимал ва оқим ўқида минимал қийматга эга. Демак, труба деворидан суяқлик оқимчаси қанчалик узоқда бўлса, унинг тезлиги шунча катта бўлади ва максимал қиймати оқим ўқига тўғри келади (29).

Суяқлик оқимида тезликлар тақсимланиш қонунини аниқлаш учун оқим ўқидан r масофада жойлашган, узунлиги l ва қалинлиги dr бўлган элементлар цилиндр шаклидаги суяқлик бўлакчасини ажратиб оламиз (14-расм.)

Суяқлик турғун ҳаракатида жараённи ҳаракатга келтирувчи кучи $\Delta P = P_1 - P_2$ бутунлай ички ишқаланиш қаршилиги T ни енгишга сарфланади:

$$P_1 - P_2 = T$$

лекин

$$P_1 - P_2 = (p_1 - p_2) \pi r^2$$

бу ерда p_1 ва p_2 – 1-1 ва 2-2 кесимлардаги гидростатик босим.

Юқорида келтирилган тенгламага биноан ишқаланиш кучи қуйидагига тенг:

$$T = -\mu F \frac{dw_r}{dr}$$

бу ерда F - элементар цилиндр шаклидаги суюқликнинг ташқи юзаси $F=2 \pi r l$.

Унда

$$(p_1 - p_2) \pi r^2 = -\mu 2 \pi r l \frac{dw_r}{dr}$$

Ўзгарувчиларни бўлиш ва тегишли қисқартиришлардан сўнг ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{p_1 - p_2}{2 \mu l} r dr = -dw_r$$

Бу тенгламани интегралласак

$$\int_r^R \frac{p_1 - p_2}{2 \mu l} r dr = - \int_{w_r}^0 dw_r$$

Труба девори атрофида тезлик $w = 0$ эканлигини инобатга олсак, $r=R$ бўлади. Интеграллашдан сўнг қуйидаги тенгламани оламиз

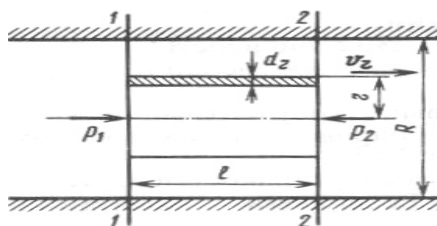
$$\frac{p_1 - p_2}{2 \mu l} \left(\frac{R^2}{2} - \frac{r^2}{2} \right) = w_r$$

бу ерда R - труба радиуси.

Охириги олинган тенгламадан тезликни аниқласа бўлади:

$$w_r = \frac{p_1 - p_2}{4 \mu l} (R^2 - r^2)$$

Труба ўқидаги ($r = 0$) максимал тезлик ушбу тенгламадан топилади:



14-расм. Тезликлар тақсимланиш қонунига келтириб чиқаришга оид.

$$w_{\max} = \frac{P_1 - P_2}{4\mu l} \cdot R^2 \quad (30)$$

(29) тенгламани (30) га бўлиб, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$w_r = w_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (31)$$

Ушбу тенглама Стокс қонуни бўлиб, трубада ламинар режимда ҳаракатланаётган суюқлик қатламларида тезликларнинг параболик тақсимланишини ифодалайди.

(31) тенглама ёрдамида Стокс ламинар режимидаги суюқлик сарфини аниқлаш мумкин. Бунинг учун оқим ўқидан r масофа жойлашган, dr кенгликдаги элементар ҳалқасимон кесимдан суюқликнинг оқиб ўтишини кўриб чиқамиз.

Ҳалқасимон кесим юзаси $df = 2\pi r dr$ га тенг.

Ушбу кўндаланг кесимдан оқим ўтаётган суюқликнинг тезлиги w_r бўлса, унинг сарфи қуйидагига тенг бўлади:

$$dV_{cek} = w_r df = 2\pi w_r \cdot r dr \quad (32)$$

Тезлик w_r ни (31) тенглама орқали ифодалаб (32) қўйсак,

$$dV_{cek} = \frac{P_1 - P_2}{4\mu l} (R^2 - r^2) 2\pi r dr \quad (33)$$

Интеграллашдан сўнг ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$V_{cek} = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} \cdot \pi \cdot R^4 \quad (34)$$

ёки

$$V_{cek} = \frac{\pi d^4 \cdot \Delta p}{128\mu l} \quad (35)$$

бу ерда d -труба диаметри.

(35) тенглама цилиндрик трубадаги суюқлик сарф учун **Пуазейль тенгламаси** деб номланади.

Маълумки, суюқлик сарфини трубадаги суюқликнинг ўртача тезлиги орқали аниқлаш мумкин:

$$V_{cek} = \pi R^2 \cdot w_{yp} \quad (36)$$

(35) ва (36) тенгламаларни солиштириб, ушбу тенгламани оламиз:

$$w_{yp} = \frac{P_1 - P_2}{8\mu l} \cdot R^2 \quad (37)$$

Агар, (38) тенгламани ҳам ҳисобга олсак:

$$w_{yp} = \frac{w_{\max}}{2} \quad (38)$$

Турбулент ҳаракат режими

Саноат қурилмаларида суюқликлар турбулент ҳаракати жуда кенг тарқалган. Турбулент режимда заррачаларнинг хаотик, тартибсиз ҳаракати туфайли оқимнинг асосий қисмида тезликлар анча текисланади (14-расм).

Тажрибалар шуни кўрсатдики, турбулент режимда суюқликнинг ўртача тезлиги $w_{\text{ур}}$ ламинар режимдаги каби максимал тезликнинг ярмига тенг бўлмай, ундан анча катта бўлади, яъни Рейнольдс сонининг функциясидир $w/w_{\text{max}}=f(Re)$.

Масалан, $Re=10^4$ бўлса $w_{\text{ур}} \approx 0,8 \cdot w_{\text{max}}$, $Re=10^8$ да $w_{\text{ур}} \approx 0,9 \cdot w_{\text{max}}$.

Лекин шуни алоҳида таъкидлаш керакки, турбулент режим ўта мураккаб характерли бўлгани учун, назарий усул билан суюқлик тезликларининг тақсимланиш профилини аниқлаш қийин. Бунга сабаб суюқлик заррачаларининг тартибсиз ҳаракати ва уларнинг интенсив аралашишидир. Оқибатда, суюқлик айрим заррачалари тезлигининг йўналиши ва катталикларининг локал ўзгаришлари жуда тез содир бўлади. Бундай флуктуациялар хаотик характерга эга.

Оқимнинг исталган нуқтаси учун ҳақиқий оний тезлик w_x вақт τ га боғлиқлигини ҳам 14-расмда кўриш мумкин. Турбулент режимда тезлик қандайдир ўртача тезлик атрофида пульсация қилиб туради. Ушбу нуқта учун ўртача тезлик $\bar{w}_x$ қуйидаги ифодадан топилади:

$$\bar{w}_x = \frac{\int_0^{\tau} w_x d\tau}{\tau} \quad (39)$$

бу ерда w_x - x ўқи бўйлаб суюқлик заррачасининг оний тезлиги.

Турбулент режим ҳар доим ламинар режим билан баробар юз беради.

Назарий ва тажрибавий изланишлар шуни кўрсатдики, турбулент режимдаги ҳаракатни оқим ядроси ва гидродинамика чегаравий қатламдан таркиб топган деб ҳисоблаш мумкин. Бу қатлам ичида юпка, миллиметрнинг бир неча улушига тенг қалинликдаги ламинар чегаравий қатлам бор. Гидродинамика чегаравий қатлам қалинлиги δ Рейнольдс сонига боғлиқдир ва унинг тахминий қийматини Левич тенгламасидан аниқлаш мумкин:

$$\delta = \frac{30d}{Re \sqrt{\lambda}} \quad (40)$$

бу ерда d - труба диаметри.

Турбулент режимда труба деворининг ғадир-будурлиги суюқлик ҳаракати қаршилигига салмоқли таъсир этади. Трубаларнинг ғадир-будурлиги абсолют геометрик ва нисбий ғадир-будурлиги билан характерланади. Труба деворларидаги ғадир-будурликлар ўртача баландликларининг труба узунлиги бўйича ўлчаниши абсолют ғадир-будурлик деб аталади.

Труба деворларидаги ғадир-будурликлар баландлиги Δ нинг эквивалент диаметри d га нисбати (Δ/d_s) нисбий ғадир-будурлик дейилади ва у ушбу формуладан аниқланади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{d_3}$$

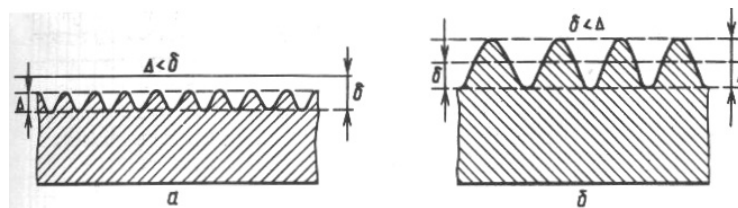
Труба девори ғадир-будурликларининг ўртача баландлиги труба материали, унинг ясашиш усули ва ишлатилиш давомийлигига боғлиқ:

Труба	Δ , мм
Янги шиша ва пўлат трубалар	0,06...0,1
Ишлатилган пўлат трубалар	0,10...0,2
Чўян ва керамик трубалар	0,35...1,0
Коррозияга учраган пўлат ва чўян трубалар	0,50...2,0

Рейнольдс критерийси қийматига қараб чегаравий қатлам қалинлиги δ ўзгаради. Труба ғадир-будурликлари чегаравий қатламдан чиқиб қолиш ҳолати жуда кўп напор йўқотилишига олиб келади.

δ ва Δ нисбатларининг қийматларига қараб трубалар гидравлик силлиқ ва ғадир-будур бўлади.

Агар $\Delta < \delta$ бўлса, трубалар гидравлик текис деб аталади (15-расм). Бунда, суёқлик ламинар юпқа қатлам бўйлаб сирпанади, яъни суёқликнинг суёқликка ишқаланиши юз беради.



15-расм. Гидравлик силлиқ (а) ва ғадир-будур (б) трубалар.

Агар $\Delta > \delta$ бўлса, трубалар гидравлик ғадир-будур деб номланади. Бунда напорнинг йўқотилиши труба деворининг ғадир-будурлиги билан белгиланади, чунки суёқлик ғадир-будур труба деворига ишқаланиб, ҳаракат қилади.

Ламинар режимда напорнинг йўқотилиши суёқлик тезлигининг биринчи даражасига, ривожланган турбулент режимда эса-тезлик квадратиға пропорционалдир.

Ламинар чегаравий юпқа қатламли турбулент ва ўтиш режимларида, напорнинг йўқотилиши тезликнинг квадратидан кичикроқ даражаға пропорционал бўлади. Ҳар бир аниқ ҳолат учун ушбу кўрсаткич тажрибавий усул билан топилади.

Қовушоқ суёқлик ҳаракатининг критериал тенгламалари

Трубада қовушоқ суёқлик ҳаракатини ифодаловчи критериал тенгламани келтириб чиқариш учун Навье-Стокс дифференциал тенгламасидан фойдаланиш мумкин.

Агар, сиқиш ва чўзиш кучлари ҳисобға олинмаса, абсцисса ўқи бўйлаб ҳаракат қилаётган суёқлик учун дифференциал тенглама ушбу кўринишға эга бўлади.

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \rho g_x = \rho w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial w_x}{\partial \tau}$$

бу ерда p - босим; μ - динамик қовушоқлик; w - тезлик; ρ - зичлик; τ - вақт.

Ушбу тенгламадаги биринчи қўшилувчи абсцисса ўқи йўналишида оқим босимининг ўзгаришини, иккинчиси эса – ишқаланиш кучини, учинчиси - оғирлик кучини; тўртинчи ва бешинчилари эса - инерция кучларини характерлайди. Тенглама қўшилувчиларининг физик маъносини инобатга олиб, қуйидагича ёзиш мумкин:

$$-P + T + G = I_1 + I_2$$

бу ерда P - босим кучи; T - ишқаланиш кучи; G - оғирлик кучи; I_1 ва I_2 – инерция кучлари.

Труба қувурларини ҳисоблашда қуйидаги кучларнинг нисбатлари алоҳида аҳамиятга эга: босим ва инерция P/I_1 , инерция ва ишқаланиш I_2/T , оғирлик ҳамда инерция G/I_1 , ва инерция кучлари нисбати I_1/I_2 .

Инерция ва ишқаланиш кучларининг нисбатидан ўлчамсиз $w_x \rho / \mu$ комплексини олиш мумкин, яъни Рейнольдс критерийсини $Re = wd\rho / \mu$.

Босим ва инерция кучлари нисбатидан эса, Эйлер критерийсини, яъни $Eu = \Delta p / \rho w^2$ олиш мумкин.

Оғирлик кучи ва инерция кучлари нисбатидан эса-Фруд критерийсини, яъни

$$Fr = gd / w^2 .$$

Инерция кучларининг нисбатидан гомохронлик критерийсини, яъни $Ho = w\tau / d$ ни олиш мумкин. Ўхшашлик назариясининг иккинчи теоремасига биноан, Навье-Стокс тенгламаси ечимини юқорида олинган критерийлар орасидаги функционал боғлиқликни ушбу кўринишда ёзиш мумкин

$$\varphi = (Ho, Fr, Eu, Re) = O \quad (41)$$

Баъзи ҳолларда (41) геометрик ўхшашлик симплекс билан тўлдирилиши мумкин. Трубалар орқали суюқлик ҳаракат қилганда, бундай симплекс сифатида труба узунлиги l нинг унинг диаметр d ёки эквивалент диаметр d_s га нисбати бўлади.

Унда

$$\varphi = \left(Ho, Fr, Eu, Re, \frac{l}{d_s} \right) = O \quad (41a)$$

ёки

$$Eu = f \left(Ho, Fr, Re, \frac{l}{d_s} \right) \quad (41b)$$

(41), (41a) ва (41b) боғлиқликлар гидродинамиканинг критериял ёки умумлаштирилган тенгламалари деб номланади. (41b) кўпчилик ҳолларда қуйидагича функция кўринишига келтирилади:

$$Eu = A \cdot Re^m Fr^n Ho^p \left(\frac{l}{d_s} \right)^q \quad (42)$$

Моделларда олинган тажриба маълумотларини қайта ишлаш натижасида коэффициент A ва даража кўрсаткичлари m , n , p , q лар аниқланади.

Турғун жараёнлар учун (41б) дан гомохронлик критерийси **Но** ни чиқариб ташлаш мумкин:

$$Eu = f\left(Fr, Re, \frac{l}{d_3}\right) \quad (43)$$

ёки

$$Eu = f_1(Fr, Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots)$$

бу ерда $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots$ – геометрик ўхшашлик симплекси.

Турғун турбулент режимда суёқлик ҳаракатига оғирлик кучлари таъсир кўрсатмайди. Унда (43) тенглама ушбу кўринишни олади:

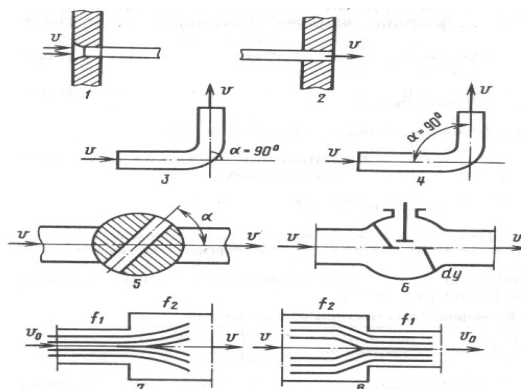
$$Eu = f_2(Re, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots) \quad (44)$$

4- Мавзу. Гидравлик қаршиликлар Труба қувурларидаги гидравлик қаршилик

Амалий гидродинамиканинг асосий масалаларидан бири бўлиб ҳақиқий суёқлик ҳаракатидаги гидравлик қаршиликни аниқлаш ҳисобланади.

Чунки, йўқотилган напор $h_{йўқ}$ (ёки $\Delta p_{йўқ}$)ни билмасдан туриб насос, вентилятор, газодувка ва компрессорлар ёрдамида суёқликларни узатиш учун зарур бўлган энергия сарфини аниқ ҳисоблаб бўлмайди. Ундан ташқари $h_{йўқ}$ (ёки $\Delta p_{йўқ}$) билмасдан туриб, ҳақиқий суёқликлар учун Бернулли тенгламасини қўллаб бўлмайди.

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



16-расм. Маҳаллий

Ишқаланиш қаршилиги (ёки узунлик бўйича қаршилик) – трубадан ҳақиқий суёқлик ҳаракат қилганда, ички ишқаланиш қаршилиги, унинг бутун узунлиги бўйича мавжуд (16-расм). Ички ишқаланиш кучининг катталиги суёқлик оқимининг режими (ламинар, турбулент, турбулентлик даражаси)га боғлиқ.

Махаллий қаршиликлар – суюқлик оқими тезлиги ва ҳаракат йўналиши қийматининг исталган ўзгаришидир. Уларга қўйидагилар: кескин ва аста-секин торайган ва кенгайган қисмлар, тирсаклар, жўмрак, ёпувчи ва ростловчи ускуна (вентил, задвижка, тикинли кран) ва бошқалар кирази (16-расм).

Айрим махаллий қаршиликлар учун ξ нинг ўртача қийматлари 2-1 жадвалда келтирилган.

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

$$h_{\text{уқ}} = h_{\text{иқ}} + h_{\text{мқ}} \quad (45)$$

бу ерда $h_{\text{иқ}}$ ва $h_{\text{мқ}}$ - ишқаланиш ва махаллий қаршиликларни енгиш учун йўқотилган напор.

Махаллий қаршиликлар коэффицентлари

2-1 жадвал

16-расмдаги махаллий қаршилик тартиби	Махаллий қаршилик тури	Махаллий қаршилик коэффиценти, $\xi_{\text{мқ}}$
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.	Тикинли кран:	
5.	Бутунлай очик $\alpha=20... 50^\circ$	0,05
6.	Стандарт вентиль $d_{\text{иқ}}=20\text{мм}$ $d_{\text{иқ}}=40\text{мм}$ ва ундан ортик	2 ... 95 8 4...6
7.	Тўсатдан кенгайиш ($Re>3500$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,50 0,40 0,35 0,30
8.	Тўсатдан торайиш ($Re>10^4$): $f_1/f_2=0,1$ 0,3 0,4 0,5	0,25 0,45 0,40 0,35 0,30 0,25

Тўғри трубада ламинар режимда ҳаракат қилаётган суюқлик учун ишқаланиш қаршилигини енгишда йўқотилган напор Пуазейль тенгламасидан топилиши мумкин.

Бернулли тенгламасига биноан горизонтал ($z_1=z_2$) ва ўзгармас кесимли ($w_1 = w_2$) труба қувурларида ишқаланиш қаршилигини енгишга йўқотилган напор:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} = h_{\text{иқ}}$$

Агар, $\Delta p = \rho g h$ ни тенгламага қўйсак ва ҳажмий сарф V ни тезлик w қўндаланг кесим юзасига қўпайтмаси билан алмаштирсак, қўйидаги қўринишга эга бўламиз:

$$w \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^4 \rho g h_{\text{иқ}}}{128 \mu l}$$

бу ерда l ва d – труба узунлиги ва диаметри; μ ва ρ - суюқлик қовушоқлиги ва зичлиги.

қисқартиришдан сўнг йўқотилган напорни аниқлаш формуласи ушбу кўринишда бўлади:

$$h_{ук} = \frac{32w\mu l}{\rho g d^2}$$

Тенглама ўнг томонининг сурати ва махражини $2w$ кўпайтирсак:

$$h_{ук} = \frac{64\mu}{wd\rho} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g}$$

Шундай қилиб, думалоқ кўндаланг кесимли трубада суюқлик ламинар режимда ҳаракат қилганда йўқотилган напор:

$$h_{ук} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (46)$$

яъни, ишқаланиш қаршилигини энгишда йўқотилган напор тезлик напори $h_T = w^2/2g$ орқали ифодаланади.

Ишқаланиш қаршилигини энгишда йўқотилган напор тезлик напоридан қанчалик фарқ қилиш катталиги *ишқаланиш қаршилиги коэффиценти* деб аталади ва $\xi_{ук}$ харф билан белгиланади.

$$\xi_{ук} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d}$$

бу ерда $\frac{64}{Re}$ - гидравлик ишқаланиш ёки ишқаланиш коэффиценти ва у λ деб белгиланади.

Ламинар ($Re < 2320$) режимда гидравлик ишқаланиш коэффиценти фақат Рейнольдс критерийсининг сон қийматига боғлиқ. Буларни ҳисобга олсак, (46) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзса бўлади:

$$h_{ук} = \xi_{ук} \frac{w^2}{2g} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \quad (47)$$

Агар, $\Delta p_{ук} = \rho g h_{ук}$ лигини ҳисобга олсак, ишқаланиш қаршилигини энгишда йўқотилган босим $\Delta p_{ук}$ қуйидаги тенгламадан ҳисобланиши мумкин:

$$\Delta p_{ук} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (48)$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги.

Агар, трубанинг кўндаланг кесими думалоқ бўлмаса, Рейнольдс критерийсида d ўрнига эквивалент диаметр d , қўйилади. Унда

$$\lambda = \frac{B}{Re}$$

бу ерда B – кўндаланг кесим шаклига боғлиқ коэффицент, квадрат кесим учун $B=57$, думалоқ кесим учун $B=96$ ва хоказо.

Гидравлик силлиқ трубалар учун ($2320 < Re < 10^4$) гидравлик қаршилик коэффиценти Блазиуснинг эмпирик формуласидан:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}} \quad (49)$$

ёки Конаков формуласидан аниқлаш мумкин:

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2} \quad (50)$$

гадир-будур трубалар учун гидравлик қаршилик коэффиценти ушбу функция кўринишида ифодаланади:

$$\lambda = f(Re, \Delta/d)$$

бу ерда $\varepsilon = \Delta/d$ – нисбий гадир-будурлик.

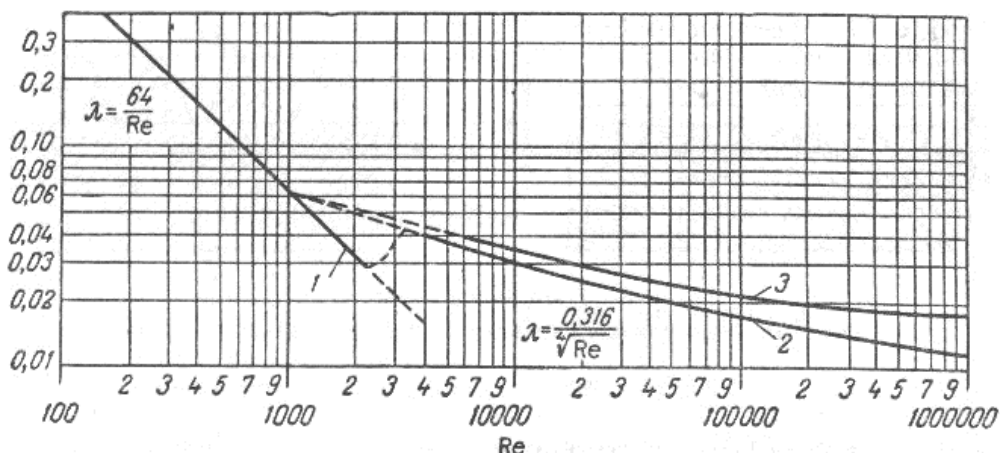
Гидравлик қаршилик коэффиценти λ ни аниқлаш учун қуйида келтирилган график тавсия этилади (17-расм). Ундан кўришиб турибдики, текис трубалар λ сидан гадир-будур трубаларники анча юқори.

Графикдан кўришиб турибдики, **Re** сони ортиши билан $\lambda = f(Re)$ боғлиқлик аввал аралаш ишқаланиш соҳасига, бу ерда $\lambda = f(Re, \Delta/d)$, сўнг эса автомодел соҳаси $\lambda = f(\Delta/d)$ га ўтади. Турбулент ҳаракат режимларининг ҳамма соҳалари учун гидравлик қаршилик коэффиценти хисоблашнинг умумлаштирилган тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\Delta/d}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] = -2 \lg \left[\frac{e}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right] \quad (51)$$

Агар, (51) формуладаги биринчи қўшилувчини инобатга олмасак, ушбу формулани оламиз:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} = 1,8 \lg Re - 1,5 \quad (52)$$



17-расм. Гидравлик қаршилик коэффиценти λ нинг Рейнольдс критерийсига боғлиқлиги.

1-текис ва гадир-будур трубалар (ламинар режим); 2-пўлат, мис, шиша ва латун текис трубалар; 3-пўлат ва чўян гадир-будур трубалар.

Гидравлик қаршилик **Re** га боғлиқ бўлмаган автомодел соҳа учун иккинчи қўшилувчини инобатга олмасам бўлади. Унда:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3,7}{\Delta/d} = 2 \lg \frac{3,7}{e} \quad (53)$$

Ньютон қонунига бўйсинмайдиган суюқликлар учун $Re^* = 3000 \dots 100000$ да гидравлик қаршилик коэффиценти топишда қуйидаги формуладан

фойдаланилади:

$$\lambda = a / (Re^*)^b \quad (54)$$

бу ерда Re^* - (54) формуладан топилади; a ва b коэффициентлар оқиш индекси n функциясидир ва $n=1$ да $a=0,316$ ва $b=0,25$ га тенг.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, маҳаллий қаршиликларда напорнинг йўқотилиши ишқаланиш қаршиликлардаги каби тезлик напори орқали ифодаланилади.

Маҳаллий қаршиликлар туфайли йўқотилган напор h_{mk} нинг тезлик напори $h_t = w^2 / 2g$ нисбатига маҳаллий қаршилик коэффициенти деб аталади ва у ξ_{mk} харфи билан белгиланади.

Унда, турли маҳаллий қаршиликлар учун

$$\begin{aligned} h_{mk1} &= \xi_{mk1} \frac{w^2}{2g} \\ h_{mk2} &= \xi_{mk2} \frac{w^2}{2g} \\ &\dots\dots\dots \\ h_{mkn} &= \xi_{mkn} \frac{w^2}{2g} \end{aligned}$$

Хамма маҳаллий қаршиликлар учун:

$$h_{mk} = \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} \quad (55)$$

(54) ва (55) тенгламаларни инобатга олсак, (55) тенглама, яъни умумий напорнинг йўқотилиши, қуйидаги кўринишда ёзилиши мумкин:

$$h_{iuk} = \xi_{iuk} \frac{w^2}{2g} + \sum \xi_{mk} \frac{w^2}{2g} = \sum \xi \frac{w^2}{2g} \quad (56)$$

бу ерда $\sum \xi$ - қаршилик коэффициентларининг йиғиндиси.

Шундай қилиб, напорнинг йўқотилиши ушбу формуладан топилади:

$$h_{iuk} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{w^2}{2g} \quad (57)$$

Агар, $\Delta p = \rho g h_{iuk}$ ҳисобга олсак, умумий босимнинг йўқотилиши эса, қуйидаги тенгламадан аниқлаш лозим:

$$\Delta p_{iuk} = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mk} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (58)$$

Труба қувурлари диаметрини ҳисоблаш

Труба қувурларининг нархи кимё, озиқ-овқат саноати корхона қурилмалари умумий нархининг салмоқли қисмини ташкил этади. Ундан ташқари, труба қувурларини эксплуатация қилиш катта маблағларни сарф қилишни тақозо этади. Шунинг учун, труба диаметрини тўғри танлаш катта техник-иқтисодий аҳамиятга эга.

Маълум иш унумдорликка эга труба қувурларининг диаметрини (59) формула

ёрдамида хисоблаб топиш мумкин:

$$V = wF$$

бундан

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} \quad (59)$$

бу ерда d -труба ички диаметри, м; w -суюқликнинг ўртача тезлиги, м/с; V -хажмий сарф, м³/с.

Суюқликларнинг тавсия этиладиган тезликлари

2-2 жадвал

т/р	Суюқлик номи	Тезлиги, w, м/с
1.	қовушоқлиги паст томчили суюқлик	<3 м/с
2.	қовушоқ суюқлик	<1 м/с
3.	Томчили суюқлик (ўзидан - ўзи оқиши)	0,2...1 м/с
4.	Томчили суюқлик (хайдаш трубасида)	1...3 м/с
5.	Газ (вентилятор хайдаш 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

Шундай қилиб, труба қувурининг диаметри, унда ҳаракат қилаётган суюқлик тезлиги орқали аниқланади.

Агар, суюқлик тезлиги қанча катта бўлса, (59) тенгламага биноан, зарур диаметр шунча кичик ва уни тайёрлаш учун шунча кам материал сарфланади. Демак, унинг нархи паст, монтажи ва таъмирланишига бўладиган харажатлар кам бўлади. Шу билан бирга, (59) тенгламага биноан, суюқлик тезлиги ортиши билан уни узатиш учун зарур босимлар фарқи ошади. Бу эса, ўз навбатида, энергия сарфини ўсишига олиб келади.

Шунинг учун, труба қувурининг оптимал диаметрини топиш учун техник-иқтисодий услубдан фойдаланиш зарур.

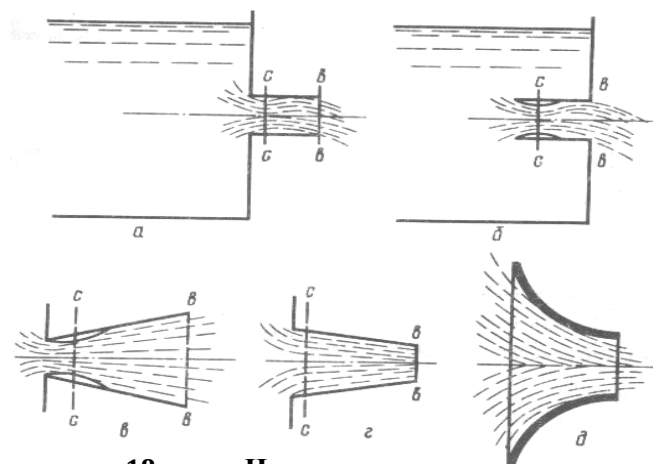
Оптимал труба қувурида эксплуатацион сарфлар минимал бўлади.

Техник-иқтисодий ҳисоблар асосида тавсия этиладиган труба қувурларидаги суюқликларнинг тезликлари 2-2 жадвалда келтирилган.

Насадка ва тешиklar орқали суюқлик оқиб чиқиши

Технологик қурилма, цистерна ва бошқа идишлар бўшаши пайтида тешик ва насадкалар орқали суюқликлар оқиб тушиш жараёни юз беради.

Насадка деб юпқа девордаги тешикга маҳкамланган турли шаклдаги калта патрубкарларга айтилади. Одатда насадка узунлиги тахминан 3...4 диаметрга тенг бўлади. Конструкциясига қараб насадкалар ички (а), ташки (б), кенгаювчи (в) ва тораювчи конуссимон (г), ҳамда коноидал (д) шаклли бўлади (18-расм).



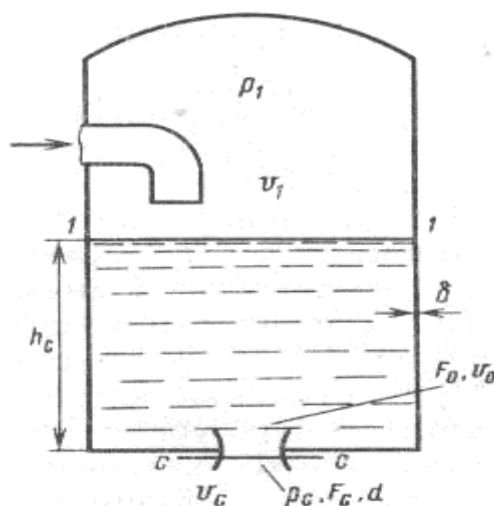
18-расм. Насадка турлари.

Суюқлик оқиб чиқиш пайтида насадка ичида вакуум хосил бўлади ва натижада тешикнинг ўзидан суюқлик ўтказиш қобилияти ортади. Кенгаювчи конуссимон насадкаларда цилиндрсимон насадкаларникидан кўпроқ миқдорда вакуум хосил бўлади.

Агар, насадкалардан чиқишда юқори тезликка эришиш зарур бўлса, тораювчи конуссимон насадкаларда қўлланилади. Коноидал насадкалар оқимча шаклида тайёрланади. Шунинг учун бундай насадкаларда оқимча сиқилмайди ва энергия йўқотилиши минимал бўлади.

Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, идиш тубидаги думалоқ тешикдан суюқлик оқиб чиқиши.

Юпқа девордаги ($\delta \leq 2d$) тешик орқали суюқлик оқиб чиқмоқда, яъни тешик чети ўткир қиррали ва унинг қалинлиги оқимча шаклига таъсир этмайди (2.19-расм).



19-расм. Идишда суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, унинг тубидаги думалоқ тешикдан оқиб чиқиши.

Бу шароитда оқиб чиқишда фақат энергиянинг маҳаллий йўқотилиши содир бўлмоқда. Идиш тубидан маълум бир баландликда оқимча сиқилади ва ушбу кўндаланг кесимда параллел – оқимчали оқиб тушиш рўй бермоқда деб тасаввур қиламиз.

1-1 ва с-с кўндаланг кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз.

Расмдан кўриниб турибдики, $w_1 \ll w_c$;

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot w_c^2}{2g} + h_{iуқ}$$

бу ерда p_c , w_c – сиқилган кесимдаги суюқлик босими ва тезлиги; α -оқимчанинг нотекислик коэффиценти:

$$h_{iуқ} = \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

бу ерда ξ - махаллий қаршилиқ коэффиценти, $\xi=0,06$.

Бернулли тенгламасидан қуйидаги формулани оламиз:

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{2+\xi} \left(h_c + \frac{p_0 - p_c}{\rho g} \right)} \quad \text{ёки} \quad w_c = \varphi \sqrt{2gH} \quad (60)$$

бу ерда

$$\varphi = \sqrt{1/(\alpha + \xi)}.$$

Хажмий сарф эса

$$V = \varphi F_c \sqrt{2gH}$$

бу ерда φ - тезлик коэффиценти, думалоқ тешиқ учун $\varphi=0,97$; F_c –оқимча кўндаланг кесими юзаси:

$$F_c = \varepsilon_0 F_0$$

бу ерда ε_0 - оқимчанинг сиқилиш коэффиценти, $\varepsilon_0=0,64$; F_0 - тешиқ кўндаланг кесими юзаси.

Унда:

$$V = \varphi \varepsilon F_0 \sqrt{2gH} = \mu F_0 \sqrt{2gH} \quad (61)$$

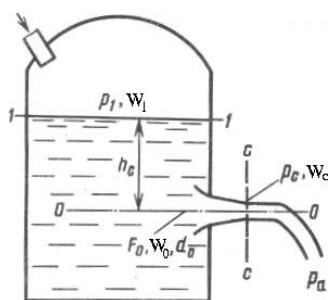
бу ерда $\mu = \varepsilon \varphi$ - сарф коэффиценти.

Сарф коэффиценти μ тешиқ шакли, девор қалинлиги ва суюқлик қовушоқлигига боғлиқ. Сув учун $\mu=0,62...0,63$ бўлиб, бошқа суюқликлар учун $\mu=f(Re)$.

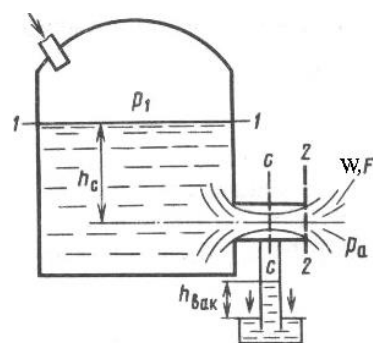
Агар, суюқлик атмосфера босимли идишга оқиб тушса $p_1=p_c=p_a$;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh_c}$$

Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, юпқа ён девордаги думалоқ тешиқдан суюқлик оқиб чиқиши. d_0 диаметрли тешиқ оғирлик марказидан 0-0 таққослаш текислигини ўтказамиз. Идиш сатх юзаси 1-1 ва сиқилган кўндаланг кесим с-с лар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз (20-расм).



20-расм. Идишдаги суюқлик
баландлиги ўзгармас
бўлганда юпка ён девордаги
думалоқ тешикдан суюқлик
оқиб чиқиши.



21-расм. Идишдаги суюқлик
ўзгармас бўлганда цилиндрик
насадкадан суюқлик оқиб
чиқиши.

$$h_c + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_a}{\rho g} + \frac{\alpha_c w_c^2}{2g} + \xi \frac{w_c^2}{2g}$$

бунда $p_c = p_a$ эканлигини инобатга оламиз.

Тенгламани w_c га нисбатан ечсак,

$$w_c = \sqrt{\frac{2g}{\alpha + \beta} \left(h_c + \frac{p_1 - p_a}{\rho g} \right)} = \varphi \sqrt{2gH} \quad (62)$$

Суюқлик сарфи эса, $p_0 = p_c = p_a$ қуйидагича топилади:

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gh}$$

бу ерда $\mu = 0,6 \dots 0,62$.

Идишдаги суюқлик баландлиги ўзгармас бўлганда, цилиндрик насадкадан суюқлик оқиб чиқиши.

Бернулли тенгламасига биноан сиқилган кўндаланг кесимда вакуум ҳосил бўлади (21-расм).

Цилиндрик насадкадан суюқлик оқиб чиқиш тезлиги:

$$w = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha + \xi_T / \varepsilon^2 + (1/\varepsilon - 1)^2 + \lambda l / d}} \quad (63)$$

бу ерда ξ_T – торайган кўндаланг кесимдаги маҳаллий қаршилик; λ -гидравлик қаршилик коэффициенти; насадка учун $\varepsilon_T = 1$ ва $\mu = \varphi$.

Насадка орқали оқиб ўтаётган суюқлик сарфи;

$$V = \mu F_0 \sqrt{2gH}$$

Ҳосил бўлаётган вакуум эса:

$$h_{\text{вак}} = 2\varphi^2 H (1 - \varepsilon) / \varepsilon \quad (64)$$

Ташқи цилиндрик насадка учун $\varphi = 0,82$, $\varepsilon = 0,64$. Ушбу φ ва ε қийматларида

қуйидагича кўринишга эга бўламиз:

$$h_{\text{вак}} \approx 0,75H \text{ ва } H \leq 1,35h_{\text{вак}}$$

Тажрибалар шуни кўрсатадики, агар вакуум 8 м.сுவ.уст.дан ортиқ бўлса, хаво чиқиш кўндаланг кесимидан сўрилиб бошланади. Бу эса вакуумнинг «узилишига» олиб келади. Бундай ҳолатларда насадка оддий тешикка ўхшаб ишлайди. Шунинг учун, напорнинг қиймати қуйидаги формуладан аниқланадиган энг катта қийматдан ошмаслиги керак:

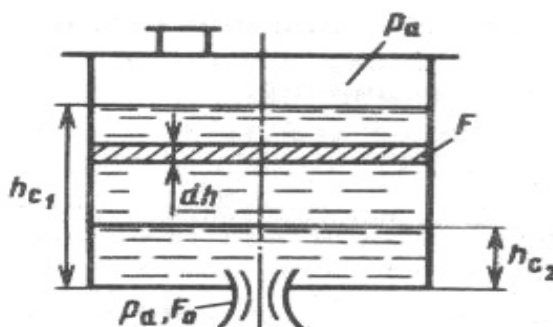
$$H_{\text{э.к}} = h_{\text{вак.эк}} \frac{1}{2\varphi^2} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \quad (65)$$

бу ерда $h_{\text{вак.эк}} = 8 \text{ м.сுவ.уст.}$

$$H_{\text{эк}} = 8 \frac{1}{2 \cdot 0,82^2} \cdot \frac{0,64}{1 - 0,64} \approx 10 \text{ м.сுவ.уст.}$$

Ўзгарувчан напорда суюқликнинг оқиб чиқиши.

Ўзгарувчан напорга эга бўлган суюқликнинг юпқа деворли идиш тешигидан оқиб, бутунлай чиқиб кетишини кўрамиз (22-расм).



22-расм. ўзгарувчан напорда суюқликнинг оқиб чиқиши.

Суюқликнинг оқиб чиқиши турғунмас режимда рўй бермоқда. Идиш тубида жойлашган тешикнинг кўндаланг кесим юзаси F_0 .

Элементар $d\tau$ вақт бирлигида суюқликнинг баландлиги h_{c1} дан h_{c2} га ўзгарганда идиш тубидаги тешикдан оқиб чиқаётган суюқлик хажми қуйидаги формуладан топилади:

$$dV = \mu F_0 \sqrt{2gh} \cdot d\tau$$

бу ерда h - $d\tau$ вақтда тешик оғирлик маркази тепасидаги напор.

Вақт бирлигида идишдаги суюқлик баландлиги $dh = dV/F$ га ўзгаради. Бу ерда F – идиш кўндаланг кесим юзаси.

Оқимнинг узлуксизлик тенгламасига биноан:

$$-dhF = \mu F_0 \sqrt{2gh} d\tau$$

бундан

$$d\tau = -\frac{Fdh}{\mu F_0 \sqrt{2gh}} \quad (66)$$

Суюқликнинг оқиб тушиш вақтини топиш учун (66) ифодани h_{c1} ва h_{c2} ораликда интеграллаймиз

$$\tau = -\int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{Fdz}{\mu F_0 \sqrt{2gz}} = -\frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \int_{h_{c1}}^{h_{c2}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = -\frac{F}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \left| 2\sqrt{h} \right|_{h_{c1}}$$

Демак

$$\tau = +\frac{2F(\sqrt{h_{c1}} - \sqrt{h_{c2}})}{\mu F_0 \sqrt{2g}} \quad (67)$$

Ушбу тенглама ёрдамида суюқлик баландлиги маълум миқдорга камайганда, яъни h_{c1} дан h_{c2} га пасайганда, суюқликнинг оқиб тушиш вақти топилади.

Агар, $h_{c2}=0$ бўлса, идишдаги суюқлик бутунлай, тўлиқ оқиб чиққан бўлади:

$$\tau = \frac{2F\sqrt{h_{c1}}}{\mu F_0 \sqrt{2g}}$$

ёки

$$\tau = \frac{2Fh_{c1}}{\mu F_0 \sqrt{2gh_{c1}}} = \frac{2V_p}{V} \quad (68)$$

бу ерда V_p – резервуар ҳажми; V - h_{c1} бўлгандаги суюқлик сарфи.

Демак, напор ўзгарувчан бўлганда резервуарнинг бутунлай, тўлиқ бўшаш вақти ўзгармас напорлига қараганда 2 марта кўп бўлади.

5-Мавзу: Ўхшашлик шартлари. Ўхшашлик теоремалари

Ўхшашлик шартлари. Ўхшашлик назарияси тажрибалар ўтказиш, бу пайтда аниқланувчи параметрлар сонини рационал миқдорларгача қисқартириш, олинган натижаларни қайта ишлаш ва уларнинг қўлланилиш чегараларини аниқлаш йўллари йўлга қўйлади.

Ўхшашлик назарияси ҳодисалар ёки жараёнларнинг ўхшашлигини объектив қонунлари ва уларни қўллаш услубларини ўз ичига олади. Бу назария ҳар бир аниқ жараённи тавсифловчи ўзгарувчан катталиклар - ўхшашлик критерийлари ҳақидаги таълимотдир. Ўхшашлик қонуниятлари физик модел-лаштириш асосини ташкил этади.

Ўрганилаётган жараёнга физик моделлаштириш услубини қўллаш учун қуйидаги ўхшашлик шартлари бажарилиши керак:

- геометрик ўхшашлик;
- вақт бўйича ўхшашлик;
- физик катталикларнинг ўхшашлиги;
- бошланғич шартларнинг ўхшашлиги;
- чегаравий шартларнинг ўхшашлиги.

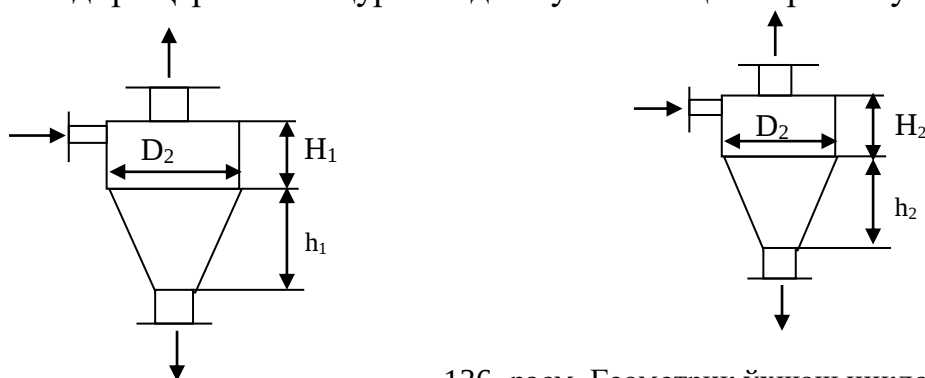
Геометрик ўхшашлик шартларига кўра таққосланаётган объект (аппарат, жараён) ва унинг моделини ўхшаш геометрик ўлчамлари ўзаро параллел бўлади, уларнинг нисбатлари эса ўзгармас қиймат билан ифодаланади:

$$D_1/D_2 = H_1/H_2 = h_1/h_2 = \dots = K_l = \text{const},$$

бу ерда D_1, H_1 ва h_1 - оригиналнинг геометрик ўлчамлари; D_2, H_2 ва h_2 - моделнинг геометрик ўлчамлари; K_l - ўлчамсиз катталик бўлиб, уни геометрик ўхшашлик доимийси ёки ўлчамлар масштаби деб юритилади.

Мисол учун, турлича масштабда бажарилган географик карталар геометрик ўхшашликка ёрқин мисол бўла олади.

Геометрик ўхшашлик шартлари бажарилган ҳолатлар учун **вақт бўйича бир хилликка** эришилади. Масалан, 2.1-расмда тасвирланган ўхшаш циклонлардаги моддий оқимлар (газ ёки суюқлик аралашмаси) траекториялари ўзаро ўхшашдир. Ҳар иккала қурилмадаги ўхшаш оқимларнинг ўхшаш заррачалари



136- расм. Геометрик ўхшаш циклонлар

вақт бирлиги оралиғида (τ_1, τ_2) бир хил геометрик ўхшаш масофаларга (l_1, l_2) силжийди. Бу пайтда заррачаларнинг ҳаракатланиш вақти нисбатлари ўзгармас катталикдир

$$T_1/T_2 = \tau_1/\tau_2 = K_\tau,$$

бу ерда: T_1 ва T_2 - ўхшаш заррачаларни қурилманинг оригинали ва моделида бўлиш вақти; τ_1 ва τ_2 - ўхшаш заррачаларни оригинал ва моделда l_1 ва l_2 ўхшаш масофаларни босиб ўтиш вақти; K_τ - вақт бўйича ўхшашлик коэффициентлари.

Физик катталикларнинг ўхшашлиги геометрик ўхшашлик ва вақт бўйича ўхшашлик шартлари бажарилган ҳолларда мавжуд бўлади. Физик катталикларнинг ўхшашлик шартлари «иккита ўхшаш системани (оригинал ва моделни) фазо ва вақт координатлари бўйича ўхшаш тартибда жойлашган ихтиёрий нуқталаридаги физик катталиклар нисбати ўзгармас қиймат» эканлигини кўрсатади

$$\mu_1/\mu_2 = \mu_1^1/\mu_2^1 = \mu_1^{11}/\mu_2^{11} = K_\mu,$$

$$\rho_1/\rho_2 = \rho_1^1/\rho_2^1 = \rho_1^{11}/\rho_2^{11} = K_\rho,$$

бу ерда μ_1, μ_2, ρ_1 ва ρ_2 - оригинал ва моделдаги физик катталиклар; K_μ ва K_ρ - физик катталикларнинг ўхшашлик коэффициентлари.

Физик катталикларнинг ўхшашлик шартлари физик катталиклар майдонларининг ўхшашликларини ҳам ўз ичига олади. Вақт бирлиги ичида физик катталикларнинг локал қийматларини қурилманинг ишчи ҳажми бўйича тақсимланиши ушбу катталиклар майдони деб юритилади (масалан, ҳароратлар майдони).

Чегаравий шартларнинг ўхшашлигига кўра оригинал ва моделнинг ҳолати (мувозанати, ишчи параметрларининг қийматлари ва х.) чегараларини белгиловчи катталиклар ўхшашдир. Системанинг ўхшаш нуқталаридаги ишчи параметрларнинг чегаравий қийматлари нисбати ўзгармасдир.

Бошланғич шартларнинг ўхшашлигига кўра оригинал ва моделда ўрганилаётган жараёнларни ифодаловчи физик катталиклар майдонлари тадқиқотларни бошланиш моментида бир-хил бўлиши лозим. Бу пайтда оригинал ва моделда кечаётган ўхшаш жараёнлар бир хил дифференциал тенгламалар билан тавсифланади, аммо уларнинг салмоғи турлича бўлади.

Шундай қилиб, оригинал ва моделнинг бир номдаги қатор катталиклари нисбатини ифодаловчи ўхшашлик коэффициентлари ўхшаш системаларни ўхшаш нуқталари учун доимийдир. Аммо оригинал ва унинг модели ўлчамлари нисбатларини ўзгариши билан бу коэффициентлар қийматлари ҳам ўзгаради. Бу ҳолат жараёнларни таҳлил қилиш ва ҳисоблаш пайтида бир қатор ноқулайликларни келтириб чиқариши мумкин. Бундай ҳолларда ўхшашлик критерий-ларидан фойдаланилади.

Агар оригинал ва унинг модели ҳолатларини аниқловчи барча ўхшаш катталиклар нисбий бирликларда ифодаланса, яъни ҳар бир система чегараларидаги ўхшаш катталиклар нисбатлари шаклида

$$l_1/D_1 = l_2/D_2 = \dots = \text{inv} = \text{idem} = i_l,$$

$$T_1/\tau_1 = T_2/\tau_2 = \dots = \text{inv} = \text{idem} = i_\tau,$$

тавсирланса, бундай нисбатлар ўзгармас ва ўлчамсиз катталикларга айланади.

i_l ва i_τ катталиклар оригинал ва модел ўлчамларидан боғлиқ эмас. Оригиналга ўхшаш бўлган бошқа бир модел учун ҳам i_l ва i_τ параметрлари бир хил бўлади. Шунинг учун ўхшаш системалардаги иккита бир турдаги катталиклар нисбатини ифодаловчи ўлчамсиз сонлар (i) **ўхшашлик инвариант-лари** (лот. *invariantis* - ўзгармас) деб юритилади.

Бир турдаги (масалан, геометрик) катталиклар нисбатини ифодаловчи ўхшашлик инвариантлари **симплекслар** (лот. *simplex* - оддий, содда) ёки параметрик **критерийлар** (юнон. *criterion* - белги, муҳокама қилиш воситаси) деб юритилади. Масалан, l_1/D_1 нисбат геометрик симплекс дейилади. Турли жинсли катталиклар нисбатини ифодаловчи ўхшашлик инвариантлари **ўхшашлик критерийлари** дейилади. Бу критерийлар ушбу катталикларнинг ўлчамсиз комплексини ифодалайди.

Ўхшашлик критерийлари билим соҳаларини муайян жабҳалари ривожига сезиларли хисса қўшган олимлар номларининг бошланғич ҳарфлари билан белгиланади, масалан, Re- Рейнольдс критерийси, Ga- Галилей критерийси ва х.

Барча ўхшашлик критерийлари ўлчамсиз, аммо сон қийматига эга бўлади.

Ўхшашлик теоремалари. Ўхшашлик назариясининг асосий қонуниятлари қуйида келтириладиган учта ўхшашлик теоремалари билан умумлаштирилган. Ушбу теоремалар ўхшашлик назариясини амалиётга қўлланилиш асосларини ташкил этади.

Биринчи ўхшашлик теоремасини И.Ньютон кашф этган. Бу теоремага мувофиқ: «ўхшаш ҳодисалар бир хил қийматга эга бўлган ўхшашлик критерийлари билан тавсифланади».

Ўхшашлик критерийларининг тенглиги жараёнлар ўхшашлиги-нинг бирдан-бир миқдорий шартидир. Бундан кўринадики, битта система (оригинал, модел) критерийларининг иккинчи система критерийларига нисбати ҳар доим 1га тенг.

Мисол учун, Рейнольдс критерийси оригинал учун Re_1 , модел учун эса Re_2 бўлсин. У ҳолда

$$Re_1/Re_2 = [(v_1 d_1 \rho_1 / \mu_1) / (v_2 d_2 \rho_2 / \mu_2)] = 1.$$

Агар ўхшашлик доимийларининг (K_t , K_l ва х.) нисбати 1 бўлса, бу нисбат **ўхшашлик индикатори** дейилади. Бу кўрсаткич ўхшашлик критерийларининг тенглигига ишорадир. Шунга кўра, биринчи ўхшашлик теоремасини қуйидагича таърифлаш мумкин: «ўхшаш ҳодисаларда ўхшашлик индикатори 1га тенг».

Биринчи теоремага асосан, тажрибалар ўтказиш пайтида олинган натижаларни умумлаштириш учун ўхшашлик критерийлари таркибига кирувчи катталикларни ўлчаш (аниқлаш) етарлидир.

Иккинчи ўхшашлик теоремаси Бэкингем, Федерман ва Афанасьева-Эренфестлар томонидан исботланган. Бу теоремага асосан: «жараёнга таъсир кўрсатувчи ўзгарувчан катталикларни ўзаро боғловчи дифференциал тенгламалар ечимини ўхшашлик критерийлари ўртасидаги боғлиқликлар кўринишида ифодалаш мумкин»:

$$f(K_1, K_2, K_3, \dots, K_n) = 0,$$

бу ерда $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ -ўхшашлик критерийлари.

Ушбу ифода одатда аниқланувчи критерийни аниқловчи критерийлардан боғлиқлиги шаклида ёзилади:

$$K_1 = f(K_2, K_3, \dots, K_n)$$

ёки даражали функция шаклида

$$K_1 = A K_2^n K_3^m \dots,$$

бу ерда K_1 - аниқланувчи ўхшашлик критерийси; A - коэффициент; m ва n - даража кўрсаткичлари. A , n ва m қийматлари тажрибалар ўтказиш йўли билан топилади.

Ўхшашлик критерийлари ўртасидаги функционал боғланишлар **критериал тенгламалар** дейилади.

Аниқловчи критерийлар ўхшашлик шартлари таркибига киритилган физик катталиклардангина иборат бўлади. Аниқланувчи критерий таркибида ўхшашлик шarti таркибига киритилмаган битта бўлсада катталик бўлади.

Ўхшашликни учинчи теоремаси М.В.Кирпичев ва А.Г.Гухман томони-дан аниқланган. Ушбу теоремага асосан: сон жиҳатидан тенг аниқловчи Критерийларга эга бўлган ҳодисалар ўхшашдир. Бу теорема тажриба асосида олинган ҳисоблаш усулларида амалиётда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади.

Ўхшашлик критерийлари

Гидродинамик ўхшашлик критерийларини келтириб чиқариш учун ҳақиқий (қовушқоқ) суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи Навье-Стокс дифференциал тенгламаларидан фойдаланилади. Ушбу тенгламалар системаси ҳаракат миқдорини (импульсни) сақланиш қонунини ифодалайди. Навье-Стокс тенгламаларидан келтириб чиқарилган критерийлар қовушқоқ суюқликлар ҳаракатига таъсир этувчи кучларни тавсифлайди.

Координатани вертикал Z ўқига нисбатан импульс узатиш тенгламасининг кенгайтирилган шакли қуйидагича ифодаланади

$$\rho \partial \omega_z / \partial \tau = -\rho (\omega_x \partial \omega_z / \partial x + \omega_y \partial \omega_z / \partial y + \omega_z \partial \omega_z / \partial z) - \partial P / \partial z - \rho g + \mu (\partial^2 \omega_z / \partial x^2 + \partial^2 \omega_z / \partial y^2 + \partial^2 \omega_z / \partial z^2),$$

бу ерда ρ - суюқликнинг зичлиги, кг/м^3 ; ω - суюқлик оқими тезлиги, м/сек ; τ - вақт, сек ; g - эркин тушиш тезланиши, 9.81 м/с^2 ; μ - суюқликнинг динамик қовушқоқлиги, $\text{Па}\cdot\text{с}$; P - гидростатик босим, Па ; ρg - бирлик ҳажмдаги суюқ-ликнинг оғирлик кучи (ташқи куч) ёки импульс манбаининг ҳажмий зичлиги; $(\partial^2 \omega_z / \partial x^2 + \partial^2 \omega_z / \partial y^2 + \partial^2 \omega_z / \partial z^2) = \nabla^2 \omega_z$ - Лаплас оператори; $\partial P / \partial z$ - бирлик ҳажмдаги суюқликнинг босим кучи; $\mu \nabla^2 \omega_z$ - суюқликнинг бирлик ҳажмига тўғри келувчи қовушқоқлик (ички ишқаланиш) кучлари.

Эйлер критерийси гидростатик босимлар фарқининг суюқлик ҳаракатига таъсирини акс эттиради:

$$Eu = \Delta P / (\rho \omega^2)$$

Фруд критерийси оғирлик кучининг суюқлик ҳаракатига таъсирини акс эттиради:

$$\omega^2 / (gl) = Fr.$$

Рейнольдс критерийси

$$\omega l / \nu = \omega \rho / \mu = Re.$$

ўхшаш оқимлардаги инерция кучларининг ишқаланиш кучларига бўлган нисбатини тавсифлайди.

Re критерийсининг сон қийматларига асосланиб турлича системаларда ҳаракатланаётган суюқлик ёки газ муҳитларининг оқиш режимлари аниқланади.

Галилей критерийси

$$Ga = l^3 \rho^2 g / \mu^2 = gl^3 / \nu^2.$$

оғирлик кучларининг ишқаланиш кучларига нисбатини ифодалайди.

Архимед критерийси

$$Ar = gl^3 (\rho_o - \rho_t) / (\nu^2 \rho_t)$$

эркин конвекция жараёнини ифодалайди ва муҳитнинг айрим нуқталаридаги зичликлар фарқи ва ишқаланиш кучлари таъсирида ҳосил бўлувчи кучларнинг ўзаро таъсирини белгилайди.

6- Мавзу. Қаттиқ жисмларнинг суюқликда ҳаракати

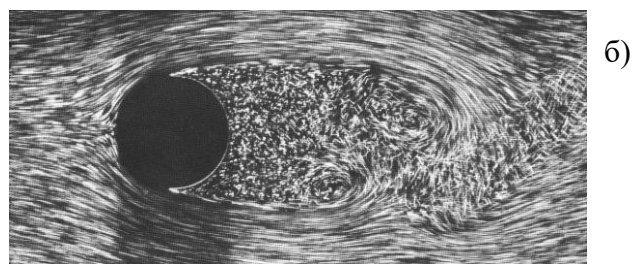
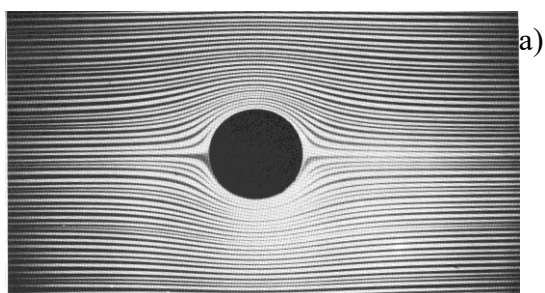
Суюқликда жисм ҳаракатига қаршилик. Кимё ва озиқ-овқат технологияларида бир қатор жараёнлар қаттиқ жисмларнинг суюқлик ёки газларда ҳаракати билан боғлиқ. Бундай жараёнларга қаттиқ заррачаларни суспензия ва чанглардан оғирлик, инерцион кучлар таъсирида чўктириш ва суюқлик муҳитларида механик аралаштиришлар 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

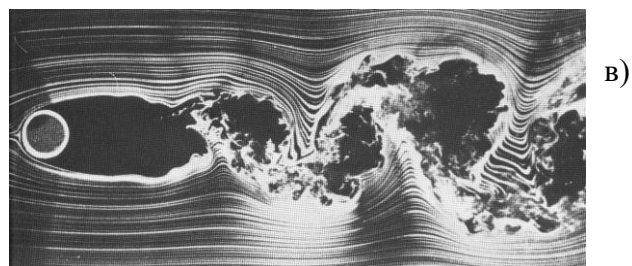
микдорда энергия сарфланиши керак. Ҳосил бўлаётган қаршилиқлар асосан ҳаракат режими ва жисм шаклига боғлиқдир.

Ламинар режимда, яъни суяқлик қовушоқлиги юқори ёки унинг тезлиги паст ва жисм ўлчамлари кичик бўлганда, жисм атрофида чегаравий қатлам ҳосил бўлади ва суяқлик текис, равон оқиб ўтади (23а-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 (23б-расм).

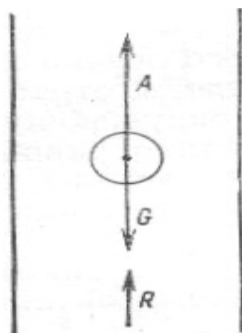


23. Қаттиқ жисмнинг суяқликдаги ҳаракати. а - ламинар оқим; б, в – турбулент оқим.



Жисмнинг суяқликда 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 қаршилиқни ҳисобга олмаслик ҳам мумкин. Трубаларда суяқлик ҳаракати пайтидек, бундай ҳолларда автомодел режим бошланади.

24-расмда суяқликда чўкаётган шарсимон заррачага таъсир этувчи кучлар кўрсатилган.



24-расм. Чўкаётган заррачага таъсир этувчи

Диаметри d ва зичлиги ρ_z бўлган заррачанинг оғирлик кучи G ва у пастга

қараб йўналган бўлади:

$$G = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho_3 g \quad (69)$$

Архимед қонунига биноан кўтарувчи куч A ушбу тенгламадан топилади:

$$A = \left(\frac{\pi d^3}{6} \right) \rho g \quad (70)$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги, кг/м³.

Заррача чўкишига сабабчи куч эса, қуйидагига тенг:

$$G - A = \frac{\pi d^3}{6} (\rho_3 - \rho) g \quad (71)$$

Чўкиш жараёнида қаттиқ жисмга суюқлик қаршилик кўрсатади. Ушбу қаршилик R қиймати мухит қовушоқлиги μ , зичлиги ρ , заррача кўндаланг кесим юзаси F ва шаклига боғлиқ.

Мухит қаршилик кучи R Ньютон қонунига биноан ушбу тенгламадан топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho w_{чж}^2}{2} \quad (72)$$

бу ерда ξ - мухит қаршилик коэффиценти; $w_{чж}$ — жисм ҳаракат тезлиги, м/с.

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

2-3 жадвал

Суюқлик ҳаракат режими	Рейнольдс сони	Архимед сони	Формула	Мухитнинг қаршилик коэффиценти
Ламинар	$Re < 2$	$Ar < 36$	$Re = 0,056 \cdot Ar$	$\xi = \frac{24}{Re} \quad (2.73)$
Ўтиш	$Re = 2 \dots 500$	$Ar = (36 \dots 83) \cdot 10^3$	$Re = 0,15 \cdot Ar^{0,715}$	$\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}} \quad (2.74)$
Турбулент	$Re > 500$	$Ar > 83 \cdot 10^3$	$Re = 1,74 \cdot Ar^{0,5}$	$\xi = 0,44 = const \quad (2.75)$

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

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

$$\Phi = \frac{F_{ш}}{F} \quad (73)$$

бу ерда F - жисм юзаси; $F_{ш}$ - жисм хажмига тенг шарнинг юзаси.

Турли шаклдаги жисмларнинг Φ коэффиценти қийматлари.

2-4 жадвал

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

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

Агар, жисмнинг хажми V , унинг массаси m ва зичлиги ρ бўлса, унда эквивалент диаметри d нинг қиймати ушбу тенгламадан топилиши мумкин:

$$V = \frac{m}{\rho_3} = \frac{\pi d^3}{6} \quad (74)$$

«Қаттиқ жисм - суюқлик» системасида экстракциялаш Умумий тушунчалар

Говаксимон қаттиқ жисм таркибидан бир ёки бир неча компонентларни ажратиб олиш жараёни **экстракциялаш** деб аталади.

Қаттиқ жисмдан бир ёки бир неча компонентни селективлик қобилятига эга бўлган эритувчи ёрдамида ажратиб олиш жараёни **эритиш** деб номланади. Ушбу жараён экстракциялаш жараёнининг хусусий холидир.

Кимё, озиқ-овқат ва бошқа саноатларда жуда кўп капиляр-говакли жисмлар эритиш жараёни ёрдамида қайта ишланади. Экстракциялаш ишқор, кислота, тузлар, қанд, ўсимлик мойлар, шарбатлар, витаминлар, турли дорилар, рангли ва нодир металллар ва хоказоларни олишда ишлатилади. Экстракциялаш жараёнида керакли компонент қаттиқ фазадан диффузия йўли орқали суюқлик фазага ўтади. Бунинг учун шу компонентни эритадиган тегишли эритувчи танлаб олиниши керак. Шуни алохида таъкидлаш керакки, экстракциялаш ва эритиш жараёнлари «қаттиқ жисм - суюқлик» системасида олиб борилади. Экстракциялаш 2 босқичда ўтади:

1) компонентнинг қаттиқ жисмлар ички қисмидан ташқи юзасига диффузия йўли билан ўтиши;

2) компонентнинг диффузия жараёни туфайли қаттиқ жисм юзасидан чегаравий қатлам орқали суюқлик фазага ўтиши. Бу жараён нотургун бўлиб, вақт бўйича ўзгаради.

Эритиш жараёнининг тезлиги фақат иккинчи босқичнинг қаршилигига боғлиқ, чунки биринчи босқичда қаршилик умуман бўлмайди. Шунинг учун, эритиш жараёни экстракциялашга қараганда анча тез боради.

Саноат технологик жараёнларида эритувчилар сифатида қуйидаги суюқликлар ишлатилади: сув - қанд лавлагидан шакарни, хамда кофе, чойни экстракциялаш учун; спирт ва спирт-сувли аралашмалар ликер - ароқ дамламаси ва пиво - алкохолсиз ичимликлар ишлаб чиқариш саноатида; бензин, трихлорэтан, дихлорэтан - ёғ ва эфир мойларини ишлаб чиқаришда. Ундан ташқари, сув ва айрим ноорганик кислоталарнинг эритмалари хам, эритувчи сифатида ишлатилади. Бундай жараёнлар **ишқорланиш** деб номланади. Ишқорланиш минерал хом - ашёларни кимёвий қайта ишлаш йўли билан қимматбаҳо компонентларни олиш учун қўлланилади.

Эритиш жараёни технологик схемаларида филтрлаш, буғлатиш ва

кристаллаш каби жараёнлардан аввал ишлатилади ва у биринчи босқич бўлиб хисобланади.

Эритиш жараёни статикаси ва кинетикаси

Жараённинг механизми шундаки, эритувчи қаттиқ жисм ғовакларига кириб боради ва ажратилиши керак бўлган моддани эритади.

Эритилган модданинг кимёвий потенциали ва унинг қаттиқ жисмдаги кимёвий потенциалига тенглашганда эриш жараёни мувозанат холига келади. Тўйиниш ҳолатига оид эритманинг концентрацияси *эрувчанлик* деб аталади.

Қаттиқ жисмнинг ташқи юзасидаги мувозанат қисқа вақт ичида ўрнатилади. Шунинг учун, масса алмашилиш жараёнларни таҳлил қилишда, "қаттиқ жисм - эритувчи" системасининг фазалараро юзасидаги концентрацияси тўйинган эритма концентрацияси *утўй* га тенг деб қабул қилинади.

Эритиш жараёни кинетикасининг асосий масаласи фазаларнинг ўзаро тўқнашиш вақтини аниқлашдир. Фазалар тўқнашиш вақти маълум бўлгандан сўнг, экстракторларнинг асосий ўлчамлари хисобланади.

Эритиш жараёнида масса алмашилишга қаттиқ жисмнинг ички тузилиши: капилляр шакли ва ўлчами (25б-расм), заррачалар кимёвий таркибига катта таъсир кўрсатади (25а-расм). Қаттиқ жисмнинг ички тузилиши масса ўтказиш тезлигига ҳам катта таъсир этади.

Қаттиқ ғоваксимон заррачалар ўзида мақсадли, керак компонентни қаттиқ ҳолатида сақлайди. Мақсадли компонентнинг заррача ҳажмида тақсимланиши турли вариантларда бўлиши мумкин. Кўпчилик ҳолларда, ғоваксимон жисм ҳажмида ажратиб олинadиган компонент бир текисда тақсимланган бўлади. Экстракция жараёнида мақсадли компонентнинг ҳажми систематик равишда камайиб боради (25-расм).

Мақсадли компонент ажратиб олинган ҳажм ($R-r_0$) да, шу компонент экстрагентда эриган ҳолда бўлади. Вақт ўтиши билан ушбу ҳажм улуши ортиб боради.

Эритиш жараёни мураккаб жараён бўлиб, эритувчини қаттиқ жисм ғовакларига диффузияси, ажратиб олинаётган моддаларни эритиш, қаттиқ жисм капиллярлари орқали фазаларни ажратувчи юзага экстракцияланаётган модданинг диффузияси ва фазаларни ажратувчи юзадан экстрагент оқими ядросига массанинг ўтиши каби босқичлардан иборат.

Жараённинг қайд этилган 4 босқичдан охириги иккитаси масса алмашилишнинг умумий тезлигини чегаралайди. Чунки, биринчи ва иккинчи босқичларнинг масса алмашилиш тезлиги, охириги иккитасиникига қараганда анча юқоридир.

Шундай қилиб, масса алмашилиш жараёнининг умумий диффузия қаршилиги қаттиқ жисм ва эритувчиларнинг ички диффузион қаршиликлари йиғиндисидан иборат.

Капилляр - ғовак жисм ичидан модданинг диффузия тезлиги ушбу тенглама билан ифодаланади:

$$i = -\frac{dM}{F d\tau}$$

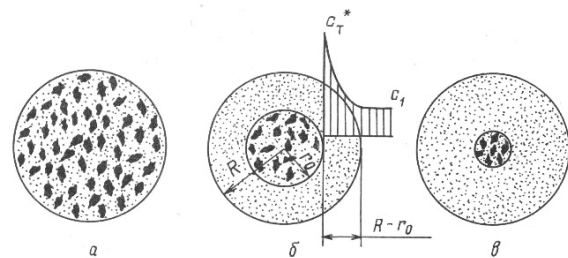
Фазаларни ажратувчи юзадан оқим ядросига масса бериш тезлиги (74) тенглама ёрдамида аниқланади.

Масса ўтказувчанлик ва бериш тезликлари орасидаги нисбатни баҳолаш учун Био критерийсидан фойдаланилади:

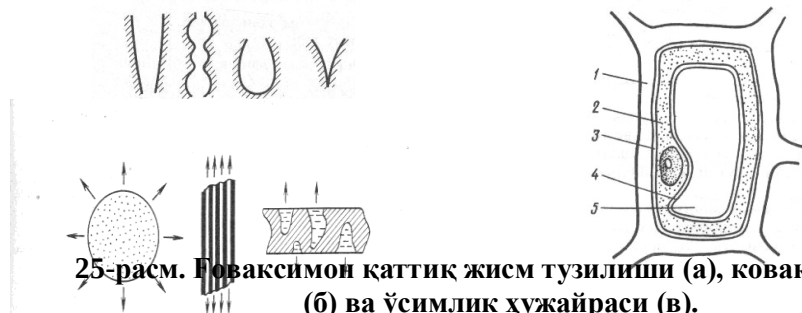
$$Bi = \frac{\beta \cdot l}{D}$$

Айниқса, капилляр - ғовак жисмларда масса ўтказувчанлик тезлиги жуда кичик бўлади.

25в-расмда ўсимлик хужайрасининг тузилиши кўрсатилган.



25-расм. Қаттиқ ғоваксимон жисмнинг экстракция жараёнида тузилишининг ўзгариши.



25-расм. Ғоваксимон қаттиқ жисм тузилиши (а), коваклар тури (б) ва ўсимлик хужайраси (в).

1 – хужайра қобиғи; 2 – протоплазмалар; 3,4 – ўтказувчан мембраналар; 5 – вакуоль.

Масса ўтказувчанлик коэффиценти қаттиқ жисмнинг ички тузилишига, экстрагентнинг физик хоссалари, экстракцияланаётган модданинг концентрацияси ва жараён температурасига боғлиқ. Масса ўтказувчанлик коэффицентининг юқорида қайд этилган омилларга боғлиқлиги тажрибавий усулда топилади.

Асосий диффузион қаршилик суюқлик фазада мужассам бўлган холларда, жараёнини ифодалаш учун (74) тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

Эритиш жараёнини ҳаракатга келтирувчи куч бўлиб, қаттиқ жисм юзасидаги экстракцияланувчи модда концентрацияси $y_c = y_{туй}$ ва унинг экстрагентдаги ўртача концентрацияси $y_{ур}$ ларнинг фарқи ҳисобланади.

Ушбу ҳолатда жараённинг тезлиги қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = \beta_y (y_{my\ddot{u}} - y_{yp}) \quad (75)$$

бу ерда β_y - суюклик фазадаги масса бериш коэффициенти.

Қалинлиги δ бўлган чегаравий қатламдаги молекуляр диффузия тезлиги Фикнинг 1-қонуни ёрдамида топилади:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = D \frac{(y_{my\ddot{u}} - y_{yp})}{\delta} \quad (76)$$

бу ерда D - молекуляр диффузия коэффициенти.

Қаттиқ жисмни эритиш жараёни учун проф. А.Н. Шукарев томонидан ушбу формула келтириб чиқарилган:

$$\frac{M}{\tau} = \left(\frac{D}{\delta} \right) F_{yp} (y_{my\ddot{u}} - y_{yp}) = \beta_y \cdot F_{yp} (y_{my\ddot{u}} - y_{yp}) \quad (77)$$

бу ерда $\beta_y = D/\delta$. Тажрибавий усул билан $\delta \approx D^{0,33}$ эканлиги аниқланган.

(77) тенгламадан β_y масса бериш коэффициенти $D^{0,66}$ га пропорционаллиги кўриниб турибди. Юқорида келтирилган тенгламаларни инобатга олган ҳолда ва тажриба натижаларини умумлаштириш натижасида, ишқорлаб ажратиш жараёнида масса бериш коэффициенти β_y ни ушбу тенглама ёрдамида топиш мумкин:

$$Nu_d = 0,8 Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (78)$$

бу ерда $Nu_d = \beta_y d/D$ - Нуссельт критерийси (d - қаттиқ заррача диаметри);

$Re = wd\rho/\mu$ - Рейнольдс критерийси (w - экстрагент тезлиги; μ - экстрагент динамик қовушоқлиги); $Pr = \nu/D$ - Прандтл критерийси.

(5.156) тенгламадан кўриниб турибдики, агар чегаравий қатлам қалинлиги δ камайса, коэффициент β нинг қиймати ортади. Чегаравий қатлам назариясидан маълумки, Рейнольдс сони ортиши, яъни қаттиқ заррачаларга нисбатан экстрагент ҳаракат тезлиги кўпайиши билан диффузион қатлам қалинлиги камаяди.

Демак, самарадор гидродинамик шароит яратиб, ишқорлаб ажратиш жараёнини интенсивлаш мумкин. Ундан ташқари, қаттиқ материални майдалаш ҳам жараённи жадаллашишига олиб келади.

Маълумки, қаттиқ жисмларни майдалаш, масса алмашилиш юзасининг ортишига ва материал ичидан капиллярлар орқали экстракцияланаётган компонент диффузия йўли капайишига олиб келади. Температура ортиши билан масса ўтказувчанлик коэффициент кўпайганлиги учун ишқорлаб ажратиш жараёни экстрагентнинг қайнаш температурасига яқин температураларда ташкил этилади. Бундай ҳолатда эритманинг тўйиниш концентрацияси $y_{my\ddot{u}}$ ортади, бу эса ўз навбатида эритиш ва ишқорлаб ажратиш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи

кучининг кўпайишига сабабчи бўлади.

Амалий жихатдан жараёнларни интенсивлаш учун экстрактордаги гидродинамик ҳолатни яхшилаш зарур. Масалан, мавҳум қайнаш қатламда қайта ишлаш, пульсация ёки вибрация таъсир эттириш йўллари билан экстракторларда юқорида қайд этилган жараёнлар самарасини кўтариш мумкин. Ундан ташқари, паст частотали тебранишлар ҳам, экстракторларда кечадиган масса алмашиниш жараёнини тезлаштиради.

Ишқорлаб ажратиш экстракторларининг конструкциялари

Экстракция, эритиш ва ишқорлаб ажратиш учун даврий ва узлуксиз ишлайдиган экстракторлар қўлланилади. Қурилмадаги фазалар ҳаракатига қараб параллел, қарама - қарши ва мураккаб йўналишли бўлиши мумкин.

Суюқлик фазасининг қаттиқ материални ювиб ўтиш ҳаракатига қараб ўзгармас, механик аралаштиргичи бўлган ва мавҳум қайнаш қатламли экстракторлар бўлади.

Экстракторларни танлашда қаттиқ фаза физик-механик хоссалари ва ажраб чиқадиган экстракт концентрацияси ёки тайёр маҳсулот чиқиши ҳисобга олинади.

Маълумки, даврий ишлайдиган қурилмалар иш унумдорлиги кам бўлади. Шунинг учун, улар кичик ҳажмли корхоналарда қўлланилади. Лекин, саноат миқёсида кўпинча узлуксиз ишлайдиган қурилмалар ишлатилади. Экстрактор ва эриткич бир-биридан катта фарқланмайди. Агар, қурилма қаттиқ, ғоваксимон жисмни экстракциялаш учун қўлланилса ***экстрактор*** деб номланади. Агар, қурилма қаттиқ ғоваксимон материални эритиш учун ишлатилса, унда у ***эриткич*** деб аталади.

Экстрактор ва эриткичларга қўйиладиган талаб қуйидагилардан иборат:

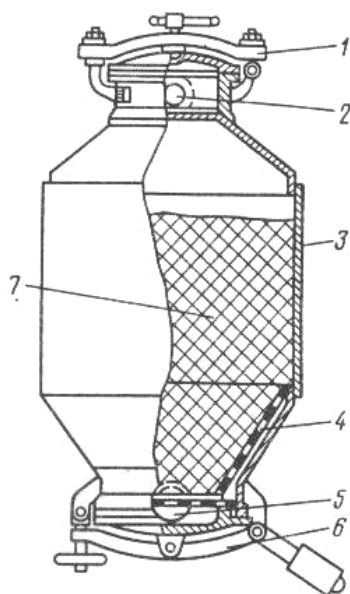
- қурилма ҳажми бирлигига тўғри келган экстрактнинг миқдори, яъни солиштирма иш унумдорлиги катта бўлиши зарур;

- ҳосил бўлаётган эритма концентрацияси иложи борича юқори бўлиши керак;

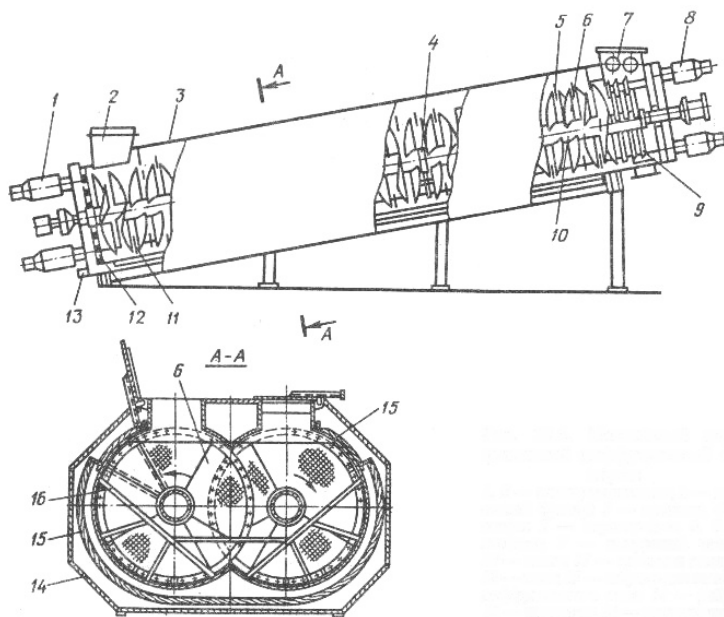
- энергия сарфи кам бўлиши зарур.

Перколятор - бу даврий ишлайдиган, қўзғалмас қатламли экстрактор (26-расм). У конуссимон тубли ва ясси қопқоқли цилиндрик қурилма бўлиб, тубида тешикли панжара ўрнатилган. Ушбу панжарага тепа люкдан майдаланган қаттиқ материал қатлами юкланади.

Ишқорлаб ажратиш жараёни тугагандан сўнг, материал пастки кўтарма



26-расм. Перколятор. 1-қопқоқ; 2,5-эритувчи учун штуцерлар; 3-қобик; 4-тешикли панжара; 6-кўтарма люк.



27-расм. Икки шнекли, оқма диффузион қурилма.

люкдан чиқариб юборилади.

Перколяторлар кетма-кет уланиб батареялар ҳосил қилинади. Батареяга уланадиган перколяторлар сони 4 та дан 15 та гача бўлиши мумкин. Эритувчи перколяторнинг паст қисмидан юқорига насос ёрдамида ҳайдалади. Батареяларда оқимлар йўналиши ҳар доим қарама-қарши бўлади. Исталган перколяторда ажратиш даражаси белгиланган даражага етиши билан ишлатиб бўлинган материални тўкиш учун батарея ўчирилади ва янги хом-ашё юкланади. Одатда, қурилмадан материал босим остида тўкилади.

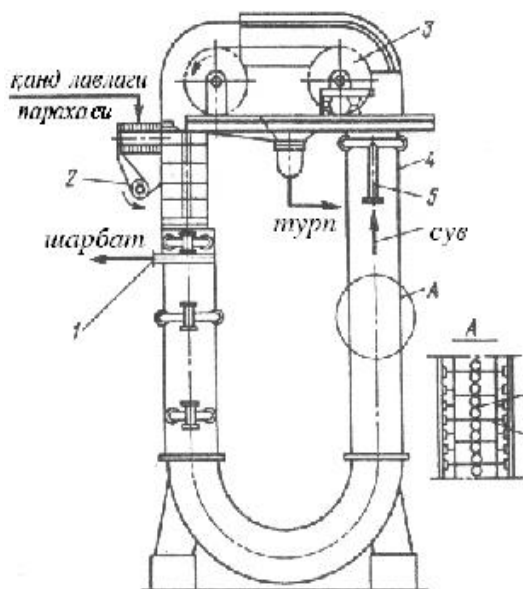
Узлуксиз ишлайдиган диффузион қурилмалар кимё, тоғ - кон, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда жуда кўп ишлатилади. Айниқса, қанд лавлагидан шакар олишда ва унинг турпини чиқариб ташлашда бу турдаги қурилмалар жуда самарали қўлланилмоқда.

Икки шнекли, оғма диффузион қурилма одатда $8...11^\circ$ бурчак остида ишлатилади. Қурилманинг тепа қисмида қанд лавлаги қириндиларини юклаш учун бункер ва ҳосил бўлаётган турпини (жомни) чиқариш учун шнеклар ўрнатилган (27-расм).

Қурилма ичида қанд лавлаги қириндиси иккита шнек ёрдамида пастдан тепага қараб узатилади. Винт чизиғи бўйлаб жойланган парраклар тизими шнекларни ҳосил қилади. Биринчи шнекнинг парраклари, иккинчи шнекнинг парраклараро бўшлиғига кириб туради. Шнекларнинг бундай жойлашиши қириндини бир текисда узатиш ва қириндини паррак билан бирга айланишига тўсқинлик қилади. Бунинг учун қурилмада контрпарраклар ва қопқоқнинг пастки қисмида тўсиқлар ўрнатилган.

Лавлаги турпи курилманинг тепа қисмидаги шнеклар ёрдамида чиқарилади. Турпни самарали тўкиш учун парраклар ҳам ёрдам беради. Тўкиш шнеклари узатиш шнекларига нисбатан тўғри бурчак остида ўрнатилган ва уларга қарама - қарши йўналишда айланади. Экстракцияланаётган материални иситиш учун курилманинг остки қисмида иситувчи камера ўрнатилган.

Икки поғонали диффузион курилма U - симон, тўғри тўртбурчак кўндаланг кесимли қобикдан иборат бўлади. Ушбу қобик махсус таянчлари билан оғир пойдеворга ўрнатилади.



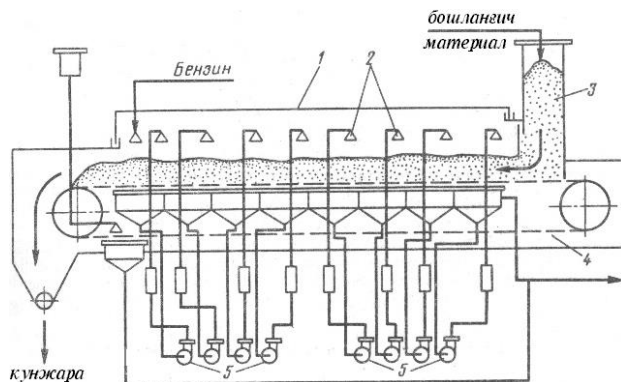
28-расм. Икки колоннали диффузион курилма.

1,5 - штуцерлар; 2 - ротацион улоқтиргич; 3 - барабан; 4 - қобик; 5 -

патрубклар орқали чиқарилади. Барометрик сув курилманинг тепа қисмида жойлашган прессланган турп суюқлиги эса, пастки сопллар орқали курилмага киритилади.

Қанд лавлаги пархаси ромчали занжир ёрдамида курилма бўйлаб узатилади ва охирида тўкиш штуцерига олиб келинади. Барометрик ва прессланган турп сувлари, қанд лавлаги қириндисига қарама - қарши йўналишда, колоннанинг тепа қисмига юборилади. Жараён якунида ҳосил бўлган диффузион шарбат кейинги технологик жараёнга узатилса, турп эса - пресслашга ёки омборга юборилади. Айрим курилмаларда қаттиқ материал қовшлар ёрдамида узатилади.

Лекин, материални узатиш учун ромча ёки қовш занжирли мосламаларни қўллаш, қаттиқ жисмларнинг зичланишига сабабчи бўлади. Маълумки, зичланган материални экстракциялаш анча қийин.



29-расм. Лентали экстрактор.

1 - қобик; 2 - сопллар; 3 - юқловчи шахта; 4 - узатувчи транспорт мосламаси; 5 - насослар.

Курилма қобиғи айрим қаргалардан таркиб топган бўлиб, қаттиқлик қовурғалари билан мустаҳкамланади. Экстракторда материал узатувчи ромчалар ўрнатилган пластмасса занжирлар ёрдамида узатилади. Ушбу занжир электр юриткичга уланган узатма ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Ромчаларни вертикал ҳолатда материалдан тўлиқ тозалаш учун зарба типидagi тозалагич ўрнатилган.

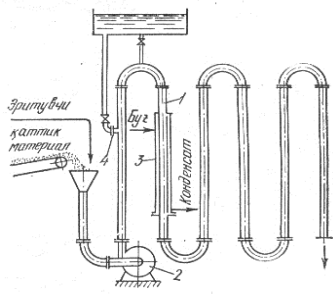
Хом - ашё курилмага панжарасимон конвейер ва ротацион улоқтиргич ёрдамида юкланади. Иситилган шарбат курилмага сопллар ёрдамида пуркалади.

Курилмадан диффузион шарбат камерада ўрнатилган конуссимон тешикли элак ва ўрнатилган конуссимон тешикли элак ва парракли ва контрпарракли диффузион курилмаларда қиринди анча майдаланади, бу эса диффузион шарбатнинг филтрланишини кийинлаштиради. Натижада, экстракциялаш жараёнининг тезлиги ҳам камаяди.

Лентали экстракторлар кўпинча таркибида ёғ бор материаллардан (писта,

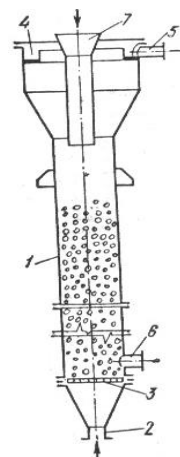
чигит ва х.) ёғни экстракциялаш учун қўлланилади (29-расм).

Майдаланган қаттиқ фаза (писта) лентада юпқа қатлам холида узатилса, экстрагент - бензин ёки гексан эса насослар ёрдамида лентадаги хом - ашёга пуркалади. Қаттиқ материал ва экстрагентларнинг ўзаро ҳаракати комбинацияланган, мураккаб бўлиб, яъни ҳар бир бўлимда ўзаро кесишган ва экстракторнинг бутун узунлиги бўйлаб қарама-



30-расм. Трубали экстрактор.

1 - труба; 2 - насос; 3 - буф қобиғи; 4 - ювувчи сув кирадиган штуцер.



31-расм. Мавҳум қайнаш қатламли экстрактор.

1 - колонна; 2 - эритма кириш штуцери; 3 - тақсимловчи тешикли панжара; 4 -ҳалқасимон тарнов; 5 - концентрланган эритма чиқадиган штуцер; 6 - қаттиқ қолдикни тўкиш штуцери; 7 - қаттиқ материални юклаш трубаси.

қарши йўналишда ҳаракатланади. Экстрактор конструкцияси қаттиқ материал ва экстрагентнинг ўзаро яхши тўқнашувини таъминлай олмайди. Шунинг учун, экстракциялаш жараёни жуда кичик тезликда

кечади. Демак, хом - ашёдан ёғни тўла ажратиб олиш учун экстракция жараёни бир неча поғонали қурилмада олиб бориш керак.

Мавҳум қайнаш қатламли экстракторлар. Бу турдаги қурилмаларда қаттиқ материал заррачалар юзаси бутун жараён мобайнида турбулент оқим билан ювилиб туради, яъни тўқнашувда бўлади. Натижада экстракциялаш ва эритиш жараёнлари интенсивлашади.

Трубали экстрактор кетма - кет уланган труба 1 лардан иборат бўлиб, улардан қаттиқ, майда заррачали суюқлик насоси 2 ёрдамида ҳайдалади. Маълумки, температура ортиши билан жараён тезлашади. Шунинг учун, трубалар буф қобиғи 3 билан ўралган. Насос тўсатдан тўхтаб қолган ҳолларда, труба ичидаги қаттиқ қуйқаларни деворга ўтириб қолмаслиги учун ювиб юборилади. Бунинг учун тепада жойлашган идишдан трубаларга сув юборилади.

Ушбу қурилмаларда экстракциялаш жараёнининг интенсивлиги, унда идеал сиқиб чиқариш режимига яқин шароит яратилиши билан боғлиқдир. Қурилмада фазалар қарама - қарши ҳаракат йўналишини қўллаб бўлмаслигига сабаб, қаттиқ жисмнинг майда заррачалари суюқлик билан чиқиб кетишидир.

Мавҳум қайнаш қатламли экстрактор. Цилиндрсимон колонна 1 га пастки штуцер 2 орқали эритма узлуксиз равишда узатилади. Штуцер 2 орқали киритилган эритма белгиланган тезликда тақсимловчи панжара 3 тешикларидан ўтади ва

майдаланган қаттиқ материал қатламини мавхум қайнаш ҳолатига келтиради.

Бошланғич материал қурилманинг юклаш трубаси 7 орқали мавхум қайнаш қатламига узатилади. Одатда, мавхум қайнаш қатлами бир неча метр бўлади. Қурилмадан чиқишда юқори концентрацияли эритма олиш мумкин. Концентрланган эритма халқасимон тарновга тушади ва штуцер 5 орқали ташқарига чиқарилади. Ҳосил бўлаётган қаттиқ қолдиқ тақсимловчи панжара 3 дан озгина юқорида жойлашган штуцер 6 орқали узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Бундай экстракторлар тузилиши содда ва кам металл сарфланади. Ундан ташқари, жараён интенсивлиги катта ва қаттиқ жисмдан керакли компонентни ажратиш даражаси юқори.

Эриткичларни ҳисоблаш

Охирги йилларда яратилган қаттиқ жисмни экстракциялаш жараёнининг зонали усули, нотурғун масса ўтказувчанлик масаласини ечишга асосланган. Тўғри, геометрик шаклдаги жисмларни экстракциялаш жараёнининг давомийлигини ҳисоблаш учун ушбу формулани қўллаш мумкин:

$$\tau_i = \sum_i^n \frac{\ln \prod_1^s \frac{\rho_{j,i}}{E_i}}{k_i \sum_{j=1}^n \frac{\mu_{j,i}}{R_j^2}}$$

бу ерда $\mu_{j,i}$ ва $\beta_{j,i}$ - j йўналишидаги жисм шаклига ва намлик ўзгариши i оралигидаги Bi_m катталикларга боғлиқ коэффицентлар.

Лекин, масса ўтказувчанлик коэффиценти бўйича тажриба маълумотлари етарли бўлмагани учун, ушбу усулнинг амалиётда қўлланилиши маълум қийинчиликларга дуч келмоқда.

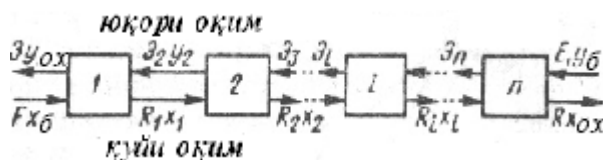
Шунинг учун экстракторларни ҳисоблаш усули концентрация ўзгаришида назарий поғоналар сонини аниқлашга асосланган усул кенг қўламда ишлатилади. Ҳисоблаш усулига ф.и.к. нинг киритилиши кўп поғонали қурилмаларнинг ҳақиқий поғоналар сони ёки узунлигини топиш имконини беради.

Назарий поғоналар сонини учбурчакли диаграммадан фойдаланиб график усулда аниқлашни кўриб чиқамиз (33-расм).

Ҳисоблашлар қулай бўлиши учун тенг томонли учбурчак ўрнига диаграммани тўғри бурчакли учбурчак кўринишида чизамиз.

Бошланғич қаттиқ материал эримайдиган L ва эрийдиган M компонентдан таркиб топган бўлсин ва суюқлик экстрагент E ёрдамида ажратиб олинсин. Экстракциялаш натижасида экстрагент E ва унда эриган M моддадан таркиб топган экстракт, ҳамда эримайдиган модда L ва унинг ковакларида маълум миқдорда экстрагент E да эриган модда M дан таркиб топган рафинат ҳосил бўлади.

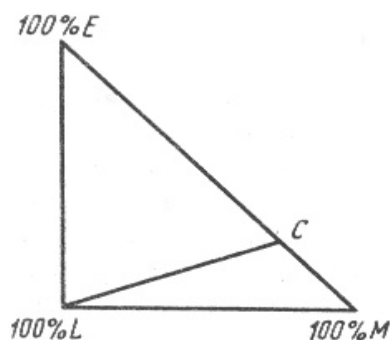
Учбурчакнинг ҳар бир томонидаги нукта L ва M , L ва E , M ва E компонентлардан иборат икки компонентли аралашмани ифодалайди. Учбурчак



33-расм. Кўп секцияли қарама-қарши йўналишли экстракциялаш.

ичидаги ҳар бир нуқта уч компонентли системани характерлайди.

Агар, экстрагент E даги M модда тўйинган эритмасининг таркиби



32-расм. "Қаттиқ жисм - суюқлик" системаси учун учбурчакли диаграмма.

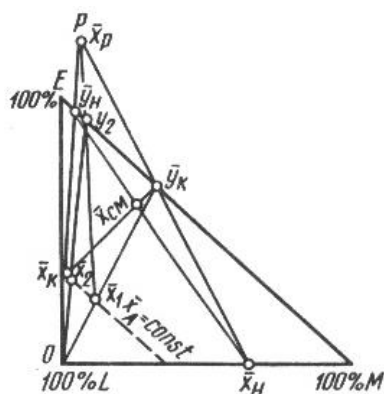
гипотенузасидаги C нуқта орқали ифодаланса, унда LC кесма эримайдиган қаттиқ модда L билан M ва E лар эритмаси аралашмасини характерлайди. Ҳосил бўлаётган аралашмалар таркиби ва миқдори, ҳамда экстракт E ва рафинат R лар орасидаги миқдорий нисбатлар ричаг қондасига биноан аниқланади.

Кўп секцияли қурилмада қарама - қарши йўналишли экстракциялаш жараёнини учбурчакли диаграммада кўриб чиқамиз (32-расм).

Экстракциялаш қурилмаси n поғонадан иборат бўлсин.

Концентрацияси $\bar{x}_6$ (масс.улуш) бўлган F (кг/с) миқдордаги бошланғич аралашма экстракцион қурилманинг биринчи поғонасига узатилади. Қурилманинг бошқа учидан n - поғонага $\bar{y}_6$ концентрацияли E (кг/с) миқдорда экстрагент юборилади. Экстракция жараёнида ҳосил бўлаётган $\bar{y}_{ox}$ концентрацияли экстракт $\bar{\mathcal{E}}$ (кг/с) ва $\bar{x}_{ox}$ концентрацияга эга бўлган рафинат R (кг/с) қурилмадан узлуксиз равишда чиқариб турилади.

Жараённинг моддий балансини ушбу кўринишда ёзиш мумкин:



34-расм. Учбурчакли диаграмма.

$$F + E = R + \mathcal{E} \quad (79)$$

$$F\bar{x}_6 + E\bar{y}_6 = R\bar{x}_{ox} + \mathcal{E}\bar{y}_{ox} \quad (80)$$

Қаттиқ фазадаги экстракцияланаётган модда концентрацияси $\bar{x}_6$ абсцисса ўқида $\bar{y}_6$ концентрацияни учбурчакли диаграмманинг гипотенузасига қўямиз ва ушбу нуқталарни бирлаштирамиз (34-расм).

Ҳосил бўлган чизиқни E/F нисбатга қараб бўлсак, $\bar{x}_{ар}$ ни оламиз. Бу нуқта бошланғич аралашма таркибини ифодалайди.

Агар, рафинатнинг таркиби маълум бўлса, учбурчакли диаграмма гипотенузасига қаттиқ фазанинг ўзгармас таркиби чизиғини ($x_1 = const$) параллел қилиб ўтказамиз ва унга $\bar{x}_{ox}$ нуқтани қўямиз.

(79) ва (80) тенгламаларга биноан $\bar{x}_{ox}$, $\bar{x}_{ар}$ ва $\bar{y}_{ox}$ нуқталар битта чизиқда

ётиши керак. Шу билан бирга, экстракт таркибини (M ва E моддалар аралашмаси) ифодаловчи y_{ox} нукта гипотенузада ётади.

Шунинг учун, y_{ox} нуктани x_{ox} ва y_{ox} нукталаридан ўтказилган тўғри чизиқнинг гипотенуза билан кесишган жойи сифатида аниқланади.

Бирор j - поғона учун моддий баланс тенгламаси ушбу кўринишига эга:

$$F + \mathcal{E}_{j+1} = R_j + \mathcal{E} \quad (81)$$

бундан

$$F - \mathcal{E} = R_j - \mathcal{E}_{j+1} \quad (82)$$

Экстракцияланаётган модда бўйича моддий баланс эса:

$$F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = R_j\bar{x}_j - \mathcal{E}_{j+1}\bar{y}_{j+1} \quad (83)$$

Агар, бошланғич қаттиқ аралашма ва экстракт сарфларининг фарқини $F - \mathcal{E} = P$ деб белгиласак, унда:

$$F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = P\bar{x}_m$$

ёки

$$P = F - \mathcal{E} = R_1 - \mathcal{E}_2 = \dots = R - E \quad (84)$$

$$P\bar{x}_m = F\bar{x}_6 - \mathcal{E}\bar{y}_{ox} = F_1\bar{x}_1 - \mathcal{E}_2\bar{y}_2 = \dots = R\bar{x}_{ox} - E\bar{y}_{ox} \quad (85)$$

(84) ва (85) тенгламаларидан кўриниб турибдики, P қутбнинг ҳолати икки тўғри чизиқ, яъни x_6 ва y_{ox} нукталар, ҳамда x_{ox} ва y_6 нукталар орқали ўтган чизиқлар кесишишида ҳосил бўлган нукта билан белгиланади.

Агар, P қутбнинг ҳолати топиб олинса, график усулда концентрация ўзгаришининг назарий поғоналар сонини аниқлаш мумкин. Бунинг учун y_{ox} нуктани координаталар боши (нукта 0) билан бирлаштирамиз ва $x_A = \text{const}$ чизиқда кесишиш нуктаси x_1 топамиз.

(85) ва (86) тенгламалардан маълумки,

$$P = R_1 - \mathcal{E}_2$$

$$P\bar{x}_m = R_1\bar{x}_1 - \mathcal{E}_2\bar{y}_2$$

Шунинг учун, y_2 нуктани $\bar{x}_m$ ва $\bar{x}_1$ нукталар орқали ўтказилган тўғри чизиқнинг учбурчак гипотенузаси билан кесишган жойи сифатида топамиз. x_2 нукта топиш учун y_2 нуктани координаталар боши билан бирлаштириш керак. Ушбу x_2 нукта ўтказилган чизиқ ва $x_A = \text{const}$ чизиқларнинг кесишиш жойида ётади. Худди шундай қуришлар рафинат концентрацияси $\bar{x}_{ox}$ қийматига тенг бўлмагунча давом эттирилади. Координаталар бошини $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{ox}$ нукталар билан бирлаштирадиган чизиқлар экстракция жараёнининг назарий поғоналар сонини характерлайди.

7- Мавзу: Қўзғалмас ва мавхум қайнаш қатламлари гидродинамикаси

Умумий тушунчалар

Кимё ва озиқ - овқат технологияси жараёнларида айрим элементлардан таркиб топган қўзғалмас 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 шаклли каналлар орқали оқиб ўтади. Бундай ҳаракат гидродинамиканинг аралаш масаласини ташкил этади.

Қўзғалмас донадор ва ғовак қатламлар орқали суюқлик ҳаракати

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

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

Охирги вақтда кимё ва озиқ - овқат саноатларининг барча корхоналарида мавхум қайнаш жараёнлари кенг қўламда қўлланилмоқда. Ушбу жараён аралаштириш, узатиш, сочилувчан материалларни классификациялаш, иссиқлик алмашилиш, қуриштиш, адсорбция, абсорбция, грануллаш, кристалланиш ва бошқа жараёнларда юқори натижалар бермоқда. Бундай ижобий натижалар мавхум қайнаш жараёнининг қуйидаги афзалликлари билан белгиланади:

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

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

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

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

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

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

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

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

- бир секцияда заррача ва ишчи элткичларнинг бўлиш вақти бир хил эмас;
- мавхум қайнаш қатламида заррачалар бир - бирига урилиши натижасида едирилади;
- заррачаларни едирилиши натижасида ҳосил бўлган чанг қурилмадан учиб кетади. Бу ҳол, албатта қўшимча чанг ушлағичлар ўрнатилишини тақозо этади;
- диэлектрик материал заррачалари мавхум қайнаш қатламли қурилмаларда ишлов берилганда, статик электр зарядлар ҳосил қилади. Бу эса, портлаш хавфини туғдиради.

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

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

Солиштирма юза - a ($\text{м}^2/\text{м}^3$) қатламнинг ҳажм бирлигида жойлашган ҳамма заррачалар юзасини ифодалайди.

Донасимон заррачалар орасидаги бўшлиқ ҳажмининг қатлам ҳажмига нисбати **бўш ҳажм ёки ғоваклилик** (ε) дейилади ва у ўлчамсиз катталиқдир:

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V}$$

бу ерда V - донасимон қатлам ҳажми, м^3 ; V_0 - қатлам заррачалари эгаллаган ҳажм, м^3 .

Агар, бирор қурилмада донасимон материаллар баландлиги H (м) кўндаланг кесим юзаси F (м^2) бўлса, унда қатлам ҳажми $V = FH$ ва заррачалар эгаллаб турган ҳажм $V_0 = FH(1 - \varepsilon)$ га тенг бўлади. Тегишли қатламнинг бўш ҳажми $V_{\text{бш}} = FH\varepsilon$, заррачалар юзаси эса - FHa га тенг.

Қатлам каналларининг кўндаланг кесимлар йиғиндисини ёки қатламнинг бўш кўндаланг кесимини топиш учун $V_{\text{бш}}$ ни канал узунлигига бўлиш керак. Агар, каналларнинг ўртача узунлиги қатлам баландлигидан α , марта ортиқ бўлса, каналлар узунлиги $\alpha_k H$ ва қатламнинг бўш кўндаланг кесими $FH\varepsilon/\alpha$, $H = F\varepsilon/\alpha$ (бу ерда α - каналларнинг эгрилик коэффиценти).

Бўш кўндаланг кесимнинг хўлланган периметри каналлар умумий юзасини уларнинг ўртача узунлигига бўлиш йўли билан топилади, яъни $\Pi = FHa/\alpha_k H = Fa/\alpha_k$.

Агар, қатламнинг бўш кўндаланг кесими ва хўлланган периметри маълум бўлса, эквивалент диаметрни ушбу тенгламадан аниқласа бўлади:

$$d_3 = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 \cdot \left(\frac{F\varepsilon}{\alpha_K} \right)}{\frac{Fa}{\alpha_K}} = \frac{4\varepsilon}{a} \quad (86)$$

Эквивалент диаметр d_3 қатлам заррачалари ўлчамлари орқали ҳам ифодаланиши мумкин. Агар, қатлам хажми 1 м^3 , заррачалари сони n та бўлса, уларнинг хажми $(1-\varepsilon)$ ва юзаси a га тенг деб ҳисоблаймиз. Унда, битта заррачанинг ўртача хажми :

$$V_3 = \frac{1-\varepsilon}{n} = \frac{\pi d^3}{6}$$

юзаси эса:

$$F_3 = \frac{a}{n} = \frac{\pi d^2}{f}$$

бу ерда d - заррача хажмига тенг эквивалент шарнинг диаметри; f - шакл коэффициентини (шар учун $f = 1$).

Унда, заррача юзасининг хажмига нисбати ушбу кўринишдан топилади:

$$\frac{a}{1-\varepsilon} = \frac{6}{df}$$

бундан

$$a = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{fd} \quad (87)$$

Агар, (87) ни (88) тенгламага қўйсак, қуйидаги формулани оламиз:

$$d_3 = \frac{2f\varepsilon d}{3 \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (88)$$

Полидисперс заррачалардан таркиб топган қатлам учун диаметр d ушбу нисбатдан ҳисоблаб топилади:

$$d = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}} \quad (89)$$

бу ерда x_i - d_i диаметрли заррачаларининг хажмий ёки массавий улуши.

Донасимон қатлам заррачалари орасидаги каналларда ҳаракатланаётган оқимнинг ҳақиқий тезлиги w ни аниқлаш жуда қийин. Шунинг учун, аввал суюқликнинг мавхум тезлиги w_0 топилади. Ҳақиқий ва мавхум тезликлар орасида қуйидаги боғлиқлик бор:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \quad (90)$$

Суюқлик донасимон қатламга ҳаракат қилганда, (ишқаланиш қаршилиги) гидравлик қаршиликни, босим йўқотилишини ҳисоблаш формуласи (2.48) дан топиш мумкин:

$$\Delta P_{\text{ук}} = \lambda \frac{l}{d_s} \frac{\rho w^2}{2} = \lambda \left[\frac{H}{\frac{2fed}{3 \cdot (1 - \varepsilon)}} \right] \frac{\rho \cdot \left(\frac{w_0}{\varepsilon} \right)^2}{2}$$

ёки

$$\Delta P = \frac{3 \cdot (1 - \varepsilon)}{2\varepsilon^3 f} \lambda \frac{H}{d} \frac{\rho w_0^2}{2} \quad (91)$$

Маълумки, гидравлик қаршилик коэффиценти λ гидродинамик режимга боғлиқ бўлиб, Рейнольдс критерийси қиймати билан белгиланади.

Агар (90) дан w ва (91) дан d , ларнинг қийматларини Re қўйсак, ушбу кўринишдаги Рейнольдс критерийсини оламиз:

$$Re = \frac{wd_s \rho}{\mu} = \frac{w_0 4\varepsilon \rho}{\varepsilon a \mu}$$

ёки

$$Re = \frac{4w_0 \rho}{a \mu} = \frac{4W}{a \mu} \quad (92)$$

бу ерда W - қурилманинг 1 м² кўндаланг кесимига тўғри келадиган суюқликнинг массавий тезлиги, кг/(м²·с).

Олинган формуладаги солиштирма юза a ўрнига (92) тенгламадаги қийматни ёки Re формуласига d , нинг қийматини (93) дан тўғридан – тўғри қўйсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$Re = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{w_0 d \rho}{\mu} = \frac{2}{3} \cdot \frac{f}{1 - \varepsilon} \cdot Re_0 \quad (93)$$

бу ерда:

$$Re_0 = \frac{w_0 d \rho}{\mu} \quad (94)$$

Гидравлик қаршилик коэффиценти λ ни ҳисоблаш учун бир қатор формулалар келтириб чиқарилган. Суюқликларнинг сочилувчан, донадор қатламларда ҳаракат қилишидаги ҳамма режимлар умумий гидравлик қаршилик коэффиценти хисоблаш қуйидаги формула ёрдамида амалга оширилади:

$$\lambda = \frac{133}{Re} + 2,34 \quad (95)$$

Ушбу формуладаги Re критерийси (95) формула орқали аниқланган.

Шуни алоҳида қайд этиш керакки, газ донадор қатлам орқали ҳаракат қилганда турбулент режим, суюқлик труба ичида ҳаракат пайтидагидан, аввалроқ бошланади. Лекин, ламинар ва турбулент режимлар орасида кескин ўтиш ҳолати йўқ. Ламинар режим $Re < 50$ дан қийматларда амалга ошади. Ушбу режимда донадор қатлам учун $\lambda = A/Re$.

Агар, $Re < 1$ бўлганда (95) формуладаги қўшилувчи ҳисобга олинмайди, яъни λ қуйидаги формуладан топилади:

$$\lambda = \frac{133}{Re} \quad (96)$$

Агар, $Re > 700$ бўлганда, донатор қатламда турбулент режимнинг автомодель соҳаси бошланади, яъни жараён тезликга боғлиқ бўлмайди. Унда, (96) формуладаги биринчи қўшилувчини тушириб қолдириш мумкин, яъни :

$$\lambda \approx 2,34 = const \quad (97)$$

Донадор қатлам бўш хажми ёки ғоваклилиги ε қурилмага материални юклаш услубига боғлиқ. Масалан, шарсимон материаллар эркин тўкиб юкланганда қатламнинг ғоваклилиги ўртача $\varepsilon \approx 0,4$ га тенг. Лекин, амалиётда ε нинг қиймати 0,35 дан 0,45 гача бўлади.

Ундан ташқари, донатор қатламнинг ε катталиги заррача диаметри d ва қурилма диаметри D орасидаги нисбатга боғлиқдир. Бунга сабабчи девор олди эффектидир, яъни девор яқинида заррачалар зичланиши хар доим кам бўлади. Шунинг учун, девор олдида қатламнинг ғоваклилиги қурилма маркази ғоваклигидан хар доим юқоридир. Ушбу фарқ d/D ортиши билан кўпайиб боради.

Саноат донатор қатламни қурилмаларини моделлаштиришда модел қурилма диаметри материал заррачалари диаметридан энг камида 8..10 марта катта бўлиши шарт.

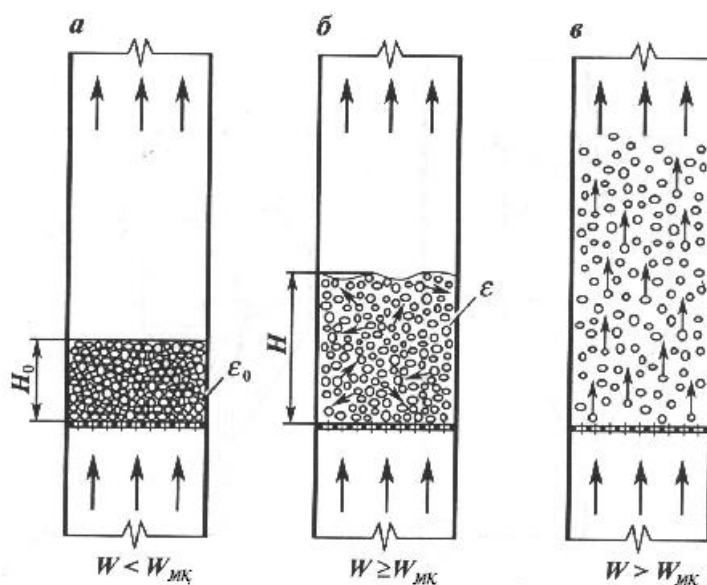
Мавхум қайнаш жараёни асослари ва гидродинамикаси

Суюқлик оқими исталган тезликларда, фақат пастдан юқорига ҳаракат қилгандагина, донатор қатлам орқали суюқлик ҳаракати қонуниятлари ушбу жараён учун тааллуқлидир. Суюқлик оқимининг юқори чегараси қатлам қўзғалмас ҳолати билан белгиланади.

35-расмда қаттиқ заррачалар қатламининг пастдан юқорига кўтарилувчи оқим тезлигига боғлиқлик 3 ҳолати тасвирланган.

Газ тақсимлаш тўри орқали пастдан юқорига қараб кичик тезлик билан газ ёки суюқлик оқими юборилса, донатор қатлам қўзғалмас ҳолатида қолади (35а-расм). Бунда оқим тезлиги ўзгариши билан қатлам (солиштирма юза, ғоваклилик ва хоказо) нинг характеристикалари ўзгармайди. Қатлам орқали ўтаётган газ (ёки суюқлик) оддий, филтрланиб ҳаракатланади.

Лекин, газ (ёки суюқлик) оқимининг тезлиги аста - секин ошириб борилса, тезликнинг маълум бир критик қийматида қатламдаги заррачалар оғирлиги билан оқимнинг гидродинамик босим кучи тенглашади. Бунда қатламнинг қўзғалмас ҳолати бузилади ва унинг ғоваклилиги, баландлиги кўпайиб боради. Шу вақтда қатлам заррачалари силжиб бошлайди ва қатлам оқувчанликка эга бўлиб бошлайди. Агар газ оқими тезлиги янада оширилса, қатлам кенгаяди, заррачалар ҳаракати фаоллашади, лекин гидродинамик мувозанат хали ҳам бузилмайди. Бу ҳол қатламнинг мавхум қайнаш жараёнига ўтганлигини кўрсатади, яъни бутун қатлам худди қайнаётгандек бўлиб кўринади (35б-расм). Қатламнинг бундай ҳолатида қаттиқ заррачалар интенсив, тартибсиз, турли йўналишларда ҳаракат қилади.

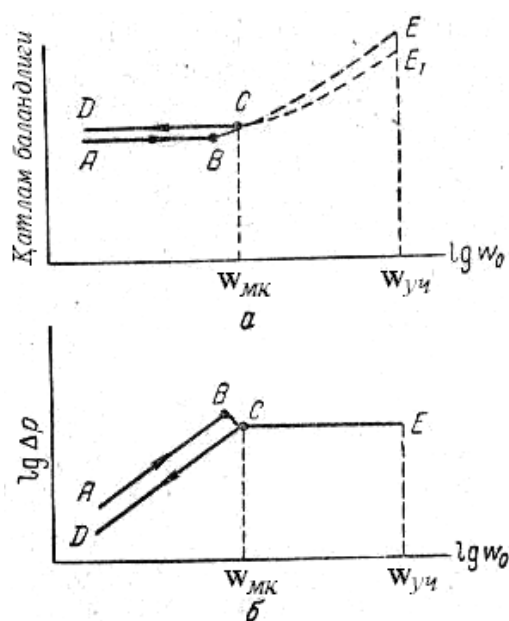


35-расм. Қаттиқ заррачалар қатлами орқали газ (суюқлик) харакати.

а-қўзғалмас қатлам; б-мавхум қайнаш қатлами; в - қаттиқ заррачаларнинг оқим билан чиқиб кетиши.

Агар газ оқимининг тезлиги янада оширилса, қатлам ғоваклилиги ва баландлиги кескин кўпайиб боради. Газ тезлиги маълум бир критик қийматга етганда мавхум қайнаш қатлами бузилади. Бунда гидродинамик босим кучлари қатлам заррачалари оғирлик кучидан ошиб кетади ва қаттиқ заррачалар газ оқими билан бирга учиб чиқа бошлайди (35в-расм). Газ оқими билан қаттиқ заррачаларнинг ёппасига учиб чиқа бошлаш ходисаси **пневмотранспорт** деб номланади ва саноатда сочилувчан материалларини узатиш учун ишлатилади.

36-расмда донатор қатлам баландлиги ва гидравлик қаршилигининг оқим сохта (қурилма кўндаланг кесим юзасига нисбатан хисобланган тезлик) **тезлигидан** боғлиқлик графиклари келтирилган.



36- расм. Донатор заррачалар қатлами баландлиги (а) ва гидравлик қаршилигининг (б) оқим тезлигига боғлиқлиги.

Қатлам қўзғалмаслиги бузилиб, мавхум қайнаш ҳолатига ўтиш пайтидаги тезлик **мавхум қайнашнинг бошланиш тезлиги ёки биринчи критик тезлик** деб номланади ва $w_{МК}$ харфи билан белгиланади.

Агар, газ оқими тезлигини $w_{МК}$ гача ошириб борилса донатор қатлам гидравлик қаршилиги ортиб боради (3.38б-расм). Лекин, w_0 қиймати ошиши билан қатламнинг баландлиги умуман ўзгармайди (3.38а-расм ABC чизиқ).

Оқимнинг гидродинамик босим кучи қаттиқ заррачалар қатлами оғирлик кучига тенг бўлганда мавхум қайнаш жараёни бошланади. Лекин, амалда В нуқтадаги тегишли босимлар фарқи бевосита мавхум қайнаш бошланишига (С нуқта) оид ΔP дан, яъни қатламни мавхум

қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур гидродинамик босим кучидан кўпроқ бўлади.

Бунга сабаб, қўзғалмас қатлам ҳолатидаги заррачалар орасидаги тортишиш кучидир. Газ оқими тезлиги w_{mk} бўлганда, заррачалар орасидаги тортишиш кучларини енгади ва гидродинамик босим кучи (ΔP) қатлам заррачалари оғирлигига тенглашади.

36,б-расмдан кўриниб турибдики, юқорида айтилган шартлар мавхум қайнаш жараёнининг ҳамма оралигида (**C-E** чизиқ) бажарилмоқда. Мавхум қайнаш бошланиши билан оқимнинг гидродинамик босим кучлари қатламдаги қаттиқ заррачалар оғирлигини мувозанатда ушлайди.

Газ оқими тезлиги ортиши билан қатлам заррачалари оғирлиги ўзгармайди. Демак, қатламни мавхум қайнаш ҳолатида ушлаб туриш учун зарур бўлган ΔP ҳам бир хил бўлади. Бу ҳолат 36,б-расмда **CE** чизиғи билан ифодаланади. Агар тезлик яна оширилса, мавхум қайнаш мувозанати бузилиб, қурилмадан газ оқими билан заррачалар ёппасига учиб чиқа бошлайди. Ушбу ҳолатга оид тезлик **учиб чиқиш тезлиги** ёки **иккинчи критик тезлик** деб юритилади ва $w_{уч}$ белги билан ифодаланади.

Бу ҳолатда қатламнинг ғоваклилиги жуда катта бўлади, яъни ε ни қиймати 1 яқинлашиб боради. Агар, ишчи тезлик w_0 қиймати $w_{уч}$ дан озгина ортса, заррачаларнинг қурилмадан ёппасига учиб чиқиши бошланади.

Агар, газ оқими тезлиги аста - секин камайтириб борилса, жараён эгри чизиғи **ABC** чизиқ эмас, балки **CD** чизиғи билан ифодаланади (36,б-расм). Ушбу ходиса **гистерезис** деб номланади. Гистерезис ходисасининг пайдо бўлишига сабаб, заррачалар ўртасидаги ўзаро тортишиш кучи, яъни ушбу кучни енгилшга қўшимча энергия сарф бўлишидир. Ундан ташқари, мавхум қайнаш жараёни тутагандан сўнг, қўзғалмас қатлам ғоваклилиги ёки баландлиги мавхум қайнаш жараёни бошлашдан аввалги қатламникидан бир оз кўп бўлади (36-расм). Бунинг исботи расмдаги **CD** чизиқнинг **AB** дан тепада жойлашганлигидир.

Агарда жараён яна қайтадан бошланса, яъни газ оқими тезлиги ортиши билан қатламнинг гидравлик қаршилиги **AB** чизиғи эмас, балки **CD** чизиғи билан ифодаланади. Хулоса қилиб айтганда, гистерезис ходисаси намоён бўлмайди.

Мавхум қайнаш жараёни эгри чизиғининг шакли қатлам ҳолатини ифодалайди. Мавхум қайнаш жараёни w_{mk} ва $w_{уч}$ тезликлар оралиги билан чегараланади.

Ишчи тезлик w нинг мавхум қайнаш бошланиши тезлиги w_{mk} га нисбати **мавхум қайнаш сони** K_w деб аталади ва у қуйидаги кўринишга эга:

$$K_w = \frac{w_0}{w_{mk}} \quad (99)$$

Мавхум қайнаш сони заррачаларнинг аралашиш интенсивлиги ва қатлам ҳолатини ифодалайди.

Кўпчилик ҳолатларда заррачаларнинг интенсив аралашиши $K_w=2$ да бўлиши тажриба йўли билан аниқланган. Аниқ технологик жараён учун K_w нинг оптимал қиймати кенг ораликда ўзгаради ва у тажриба йўли билан топилади.

Шарсимон шаклли ($f \approx 1$), ғоваклилиги $\varepsilon \approx 0,4$ бўлган қатламнинг мавхум

қайнашнинг бошланиш тезлиги проф. О.М.Тодес формуласи ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}} \quad (100)$$

бу ерда

$$Re_{mk} = \frac{w_{mk} d}{\mu}$$

Мавхум қайнаш бошланиш тезлиги:

$$w_{mk} = \frac{Re_{mk} \cdot \mu}{d\rho}$$

(100) формуладаги Архимед (**Ar**) критерийси ушбу формуладан топилади:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_k - \rho}{\rho}$$

бу ерда: **d** - заррача эквивалент диаметри, м; **ν** - мухит кинематик қовушоқлиги, м²/с; **ρ** ва **ρ_k** – мухит ва заррача зичликлари, кг/м³.

w₀ > **w_{mk}** бўлган ҳолатда тезлик ортиши билан қатлам кенгайди ва ғоваклилиги (бўш ҳажми) кўпаяди.

Мавхум қатлам мувозанати бузилиши ва заррачаларнинг ёппасига учиб чиқиш тезлигини ифодаловчи иккинчи критик тезлик ҳам проф. О.М.Тодес томонидан келтириб чиқарилган формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Re_{yq} = \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}} \quad (101)$$

бунда

$$Re_{yq} = \frac{w_{yq} d \rho}{\mu}$$

Учиб чиқиш тезлиги эса:

$$w_{yq} = \frac{Re_{yq} \cdot \mu}{d\rho}$$

Қатлам ғоваклилиги $0,4 < \varepsilon < 1$ оралиқда бўлганида **Re** ни ҳисоблаш учун қуйидаги умумлаштирилган формула тақлиф этилади:

$$Re_0 = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (102)$$

Агар, **w** маълум бўлса **ε** ни (3.92) формулада топиш мумкин:

$$\varepsilon = \left(\frac{18 Re_0 + 0,36 Re_0^2}{Ar} \right)^{0,21} \quad (103)$$

Ўзгармас қатлам **H_к** ва мавхум қайнаш қатлами баландликлари **H_{mk}** ўртасида қуйидаги боғлиқлик бор.

$$H_{mk}(1 - \varepsilon_{mk}) = H_k(1 - \varepsilon_k) \quad (104)$$

бу ерда **ε_к** ва **ε_{mk}** - қўзғалмас ва мавхум қайнаш қатламларининг ғоваклилиги.

Қатламдаги босимлар фарқи ушбу тенгламадан аниқланади:

$$\Delta p = g\rho(1 - \varepsilon)H \quad (105)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_k}{\rho_3} \quad (106)$$

бу ерда ρ_k - қатлам зичлиги, кг/м^3 ; ρ_3 - қаттиқ заррачалар зичлиги, кг/м^3 .

Қўзғалмас қатлам ғоваклилиги эса:

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_T}{\rho_3}$$

бу ерда ρ_T - материалнинг «тўкма» зичлиги, кг/м^3 .

Қаттиқ заррачалар қатламидаги босимлар фарқини ҳисоблаш учун Эрган формуласини қўллаш мумкин:

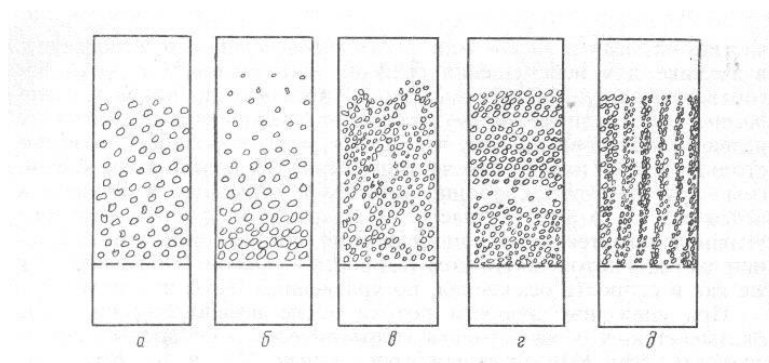
$$\Delta P = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \frac{\mu w}{d_s^2} H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\rho_n w^2}{d_s} H \quad (107)$$

Мавхум қайнаш қатлами бир ва турли жинсли бўлиши мумкин.

Бир жинсли мавхум қайнаш амалда фақат томчили суюқлик оқимида қаттиқ заррачалар мавхум қайнаш жараёниди содир бўлади.

Бунда оқим тезлиги w_{mk} дан кўпайиб кетганда қатлам баландлиги ортса ҳам уни тепа чегараси сезиларли даражада тебранмайди (37а-расм).

Аммо, саноат корхоналарида асосан «қаттиқ жисм – газ» системасида мавхум қайнаш жараёни ишлатилади (37б -расм). Одатда, бу система кўпинча, турли жинсли бўлади. Баъзи ҳолларда газ пуфакчаларига эга бўлган мавхум қайнаш жараёни содир бўлади. Бу пуфакчалар қатлам тепа қисмига етганда ёрилади ва натижада қатлам баландлигининг тебранишига олиб келади (37а-расм). CE ва CE_1 нуқтали чизиклар мавхум қайнаш қатлами тебраниш оралиғини билдиради.



37-расм. Мавхум қайнаш қатламининг турлари.

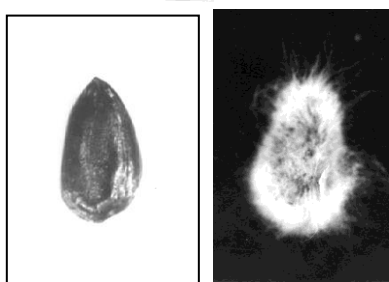
а - бир жинсли; б - турли жинсли; в – бар- ботажли;
г - поршенли; д - каналли.

Турли жинсли қатламнинг мавхум қайнаш жараёни учун қатламда ҳар хил ўлчамли пуфакчалар мавжудлиги характерлидир. Агар, мавхум қайнаш сони кичик бўлса, қатламнинг турли жинсли эканлиги унинг характеристикаларига таъсир этмайди. Аксинча, ҳаракатланувчи пуфакчалар қатламидаги заррачалар аралашини жадаллаштиради. Лекин, K_w ўсиши билан қатламнинг турли

жинслилиги ортади, яъни пуфакчалар ўлчами катталашади ва қатлам тепа чегарасидан каттиқ заррачалар интенсив равишда улоқтирилади. Пуфакчалар кўндаланг ўлчами қурилма ўлчамигача йириклашиб боради. Натижада **поршенли режим** ҳосил бўлади (37-расм). Бу режимда каттиқ жисм ва газ ўртасидаги ўзаро таъсир ёмонлашади.

Агар, нам ёки жуда майда, ҳамда ёпишқоқ заррачалар мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда **каналли** мавҳум қайнаш жараёни пайдо бўлади (3.39-расм). Канал ҳосил қилувчи қатламнинг энг сўнгги ҳолати бўлиб фаввора қатлам ҳисобланади. Бунда, қурилма ўқи атрофидаги канал орқали газ оқими қатламдан отилиб чиқади.

Донадор-толали материалларнинг мавҳум қайнаши. Маълумки, Ватанимизнинг энг асосий техник хом – ашёси - пахта чигитидир. Пахта чигити кўп қатламли нотўғри шаклли, гетероген система бўлиб, унинг ядроси – коллоид - капилляр ғовакли гель, қобиғи-ёғочсимон тузилишли ва ташқи юзаси - қуюқ пахта толалари билан қоплангандир.



38-расм. Туксизланган (а) ва тукли (б) пахта чигити.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар бир қатлам ўзаро физик - механик ва диффузион – иссиқлик хоссалари билан бир - биридан кескин фарқ қилади. Умуман олганда эса, пахта чигитини донадор сочиловчан материаллар гуруҳига қўшиб бўлмайди, чунки заррачалар орасидаги тортишиш кучи донадор материалларникидан анча катта ва бу гуруҳга келтирибни қарилган асосий қонуниятларга

бўйсунмайди.

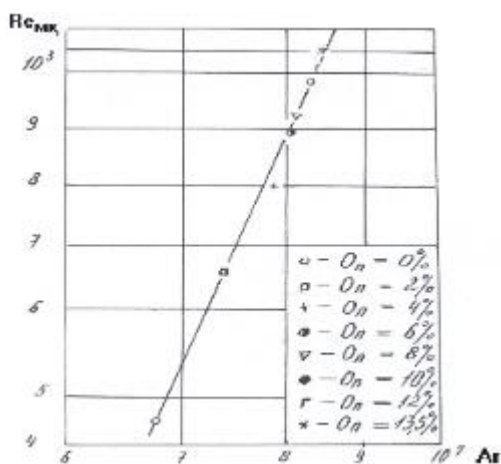
Шунинг учун, кўпинча илмий тадқиқотлар ва назарий таҳлил асосида, пахта чигити алоҳида донадор - толали материаллар гуруҳига ажратиб олинди.

Ундан ташқари, пахта чигитининг яна бир неча ўзига хос хусусиятлари борлиги ҳам унга алоҳида ёндошиш кераклигини тақозо этади. 3.40-расмдан кўриниб турибдики, чигитнинг туклилиги ортиши билан унинг эквивалент диаметри ортади ва келтирилган зичлиги камаяди.

Бундай мураккаб тузилиш ва шакли пахта чигитининг шакл коэффициентини ушбу **эмпирик тенгламадан аниқланади** :

$$f = 1.063 + 5,5 \cdot 10^{-2} O_n \quad (108)$$

бу ерда O_n - пахта чигити туклилиги, %.



39-расм. Донадор-толали материаллар учун Re сонининг Ar критерийсига боғлиқлиги.

Чигитнинг физик - механик хоссаларини ўрганиш шуни кўрсатадики, унинг туклилиги ортиши билан қатламдаги заррачалар орасида тортишиш кучи кўпаяди. Бунинг яққол исботи мавҳум қайнаш бошланишнинг материал туклилигига боғлиқлик графигида кўриш мумкин (39-расм). Агар чигит туклилиги $O_n = 0$ дан $O_n = 13\%$ гача ортса, унда мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги 1,2 м/с дан 2,16 м/с гача

кўпаяди. Бу албатта чигитнинг туклилиги ва улар орасидаги тортишиш кучлари, хамда материалнинг ноксимон, нотўғри шакли билан боғлиқдир.

Донадор-толали материаллар учун мавхум қайнаш тезлиги бўйича маълумотлар умумлаштириш натижасида ушбу кўринишдаги критериял формула келтириб чиқарилди.

$$Re_{mk} = 0,456 \cdot \left(\frac{Ar}{10^6} \right)^{3,63} \quad (109)$$

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

бу ерда η - пахта чигитининг туклилик коэффициенти.

Ушбу коэффициент эса қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\eta = \frac{Re_{mk}}{Re_{mk}^0} \quad (110)$$

ёки

$$\eta = 1 + 0,43 \cdot O_{II}^{0,44}$$

бу ерда Re_{mk}^0 - туклилиги $O_n = 0$ % бўлган чигитнинг мавхум қайнаш бошланиш тезлиги.

Донадор-толали материал қўзғалмас қатламининг ғоваклилигини ушбу формуладан фойдаланиб топса бўлади:

$$\varepsilon_0 = 0,355 + 0,059\eta \quad (111)$$

Қатламнинг гидравлик қаршилиги аномал ўзгарганлиги сабабли ва юқори аниқликдаги ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш учун $\lambda = f(Re)$ функция 3 та зонага бўлинган.

Донадор - толали қатламнинг гидравлик қаршилик коэффициенти қуйидаги формулалардан топилади:

1 – зона учун ($Re < 350$):

$$\lambda_1 = \frac{312 \cdot p^{-0,57} \cdot \exp(0,46 \cdot \eta)}{(1,8 \lg Re_m - 1,64)^2} \quad (112)$$

2 – зона $Re > 350$ да бошланади ва унинг юқори чегараси Re_{kp} ни ушбу тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$Re_{kp}' = 184,3 \cdot \exp(0,53 \cdot \eta - 0,0248 p_0) \quad (113)$$

$$\lambda_2 = 0,86 \cdot p_0^{-0,34} \cdot Re_m^{0,516 \exp(0,082 \cdot \eta)} \quad (114)$$

3 – зона учун эса ($Re_{kp} < Re < 4000$):

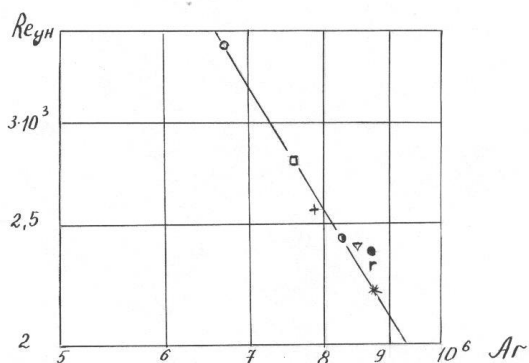
$$\lambda_3 = 6185 Re_m^{-0,9} \cdot p_0^{-0,6} \cdot \exp(0,77 \eta) \quad (115)$$

бу ерда $p_0 = p/p_{атм}$ - нисбий солиштирма массавий юклама; Re_m – Рейнольдснинг модификациялашган критерийси, қатлам каналлари эквивалент диаметри d , орқали ҳисобланади.

Дастлабки тажрибалардан маълумки, чигитнинг толалиги ортиши билан заррачанинг эквивалент диаметри ортади, зичлиги эса камаяди. Шунинг учун, донадор - толали қатлам заррачаларининг учиб чиқиш тезлиги ҳам классик қонуниятларга бўйсунмайди. Тажриба натижаларини умумлаштириш орқали донадор-толали материалларнинг учиб чиқиши тезлигига аниқлаш учун қуйидаги кўринишда формула олинди:

$$Re_{уч} = \frac{\eta^{-0,4} \cdot Ar}{20,16 + 0,683\sqrt{Ar}} \quad (116)$$

$Re_{мк}$ ва $Re_{уч}$ қийматлари маълум бўлган донадор-толали материаллар учун



40-расм. Донадор - толали материаллар учун Re сонининг Ar критерийсига боғлиқлиги.



41-расм. Донадор - толали материалларнинг қузғалмас, кенгайган ва мавҳум қайнаш қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегаралари.

қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегараларини топиш осон (40-расм).

Донадор - толали кенгайган қатламнинг юқори чегараси мавҳум қайнаш бошланиш тезлиги $Re_{мк}$ билан аниқланса, пастки чегараси эса қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$Re_{ГР} = 111(3,9 - \eta) \cdot p_0^{0,18} \quad (117)$$

Юқорида келтирилган маълумотлар тахлили шуни кўрсатадики, донадор-толали материаллар гидродинамикаси чигит туклилик коэффиценти η га боғлиқдир. Ундан ташқари, η ушбу материаллар қатлам ҳолатларининг мавжуд бўлиш чегараларига ҳам таъсир кўрсатади. Донадор, сочилувчан материаллар учун мавҳум қайнаш қатлами чегаралари Ar критерийси ортиши билан кўпайса, донадор - толали материаллар қатламини эса камаяди.

Оқимчали мавҳум қайнаш

Ҳозирги кунда кўпгина долзарб муҳандислик муаммоларни ҳал этиш турли муҳитларда газ оқимчалари (тизиллаган оқимлар) нинг тарқалиши билан узвий боғлиқдир.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни кўзгалмас, мавҳум ва фавворасимон қайнаш қатламли қурилмаларда газ тақсимловчи тешикли панжара мосламаларининг ишлаш пайтида қаттиқ ва газ фазали системаларида амалга ошади. Ушбу жараён мавҳум қайнаш қатламли гранулятор ва қуритгичларда, пневматик аралаштиргичларда, ҳамда қатламга турли - туман пуфлаб ҳаво йўналтирадиган мосламали қурилмаларда ишлатилади.

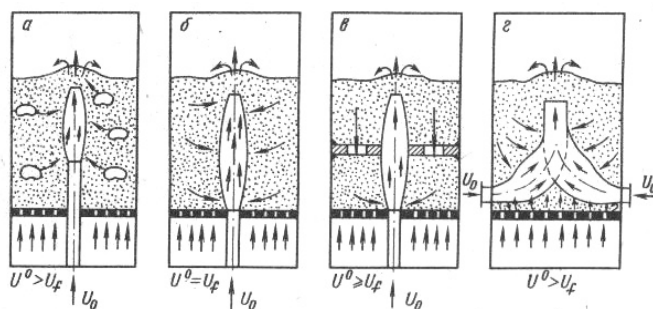
Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни қатламни ташкил қилиш усули бўйича классик (анъанавий) мавҳум қайнашдан оқимчали ҳаракат потенциали имкониятларидан фойдаланишга системали ёндашиши билан фарқланади.

Оқимчали мавҳум қайнаш қатламларида иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнларини салмоқли интенсивлашга эришиш ва классик мавҳум қайнаш жараёнига характерли камчиликларни бартараф қилиш мумкин. Ундан ташқари, саноат қурилмаларига масштабли ўтиш, газ оқимларини тақсимлаш ва қатлам тузилишини бошқариш масалалари осонлашади. Айрим жараёнлар (колчеданни флотация қилиш, охактошни куйдириш ва бошқалар) да айнан оқимчали мавҳум қайнаш қатламли қурилмалардан ишончли фойдаланишни таъминлайди.

Оқимчали мавҳум қайнаш жараёни «газ - қаттиқ заррача» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил этишнинг янги усуллари яратиш имкониятини туғдиради. Бу усуллардан энг асосий ва самаралиси-қурилма реакцион зонасини параллел – оқимчали секциялашдир.

Қатламга киритилаётган оқимчалар сони ва шакли турлича бўлиши мумкин: думалоқ ва ясси, сони эса бир ва ундан ортиқ.

Оқимчаларни қўллашдан асосий мақсад, мавҳум қайнаш сифатини яхшилаш ва бир жинсли қатлам ҳосил қилиш. Ушбу усулни тадбиқ этишда техник қийинчиликлар йўқ. Одатда оқимчаларда ҳаво сарфи мавҳум қайнаш жараёнидаги умумий сарфнинг 6..15% ни ташкил этади. Оқимчаларнинг минимал тезлиги



42-расм. «Газ - қаттиқ заррачалар» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил

этишнинг принципиал схемалари.

а-турли жинсли мавҳум қайнаш қатламининг ўрта ва юқори қисмига оқимча узатиш; б-минимал мавҳум қайнаш тезлигида қатламга оқимча узатиш; в-перфорацияли диск тешиги орқали оқимча узатиш; г-бир-бирига йўналган оқимчалар мавҳум қайнаш қатламида.

заррачалар учиб чиқиш тезлигидан 10 ва ундан ортиқ марта кўп бўлади.

42-расмда «газ - қаттиқ заррача» системасида фазалар ўзаро таъсирини ташкил этиш усуллар схемаси келтирилган:

Гидродинамик фаол оқимча қатламнинг турли жинсли юқори қисмини яхши аралаштирилган қатлам ҳолатига олиб келиши мумкин (42а-расм). Агарда, минимал мавҳум қайнаш ҳолатидаги қатламга оқимча (42б-расм) киритилса,

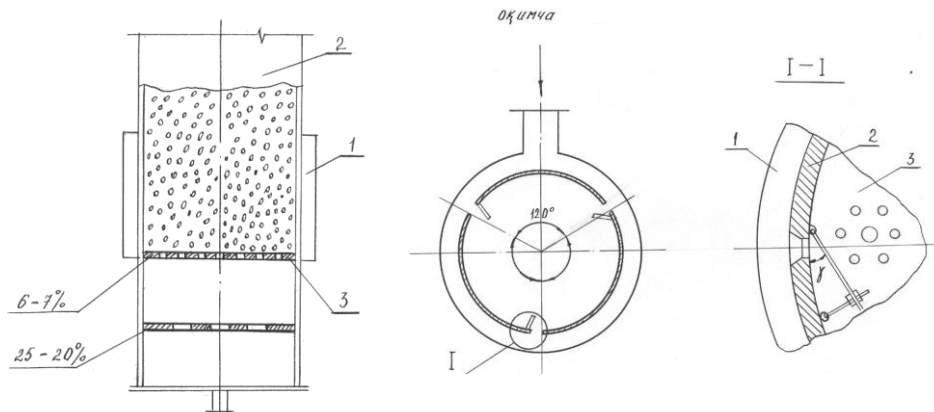
жараён интенсивлашади. Лекин, шуна алохида таъкидлаш керакки, иккала ҳолатда ҳам қурилманинг гидравлик қаршилиқ пасаяди. Агар оқимча 42в - расмда кўрсатилгандек, яъни қатламда жойлаштирилган тешикли панжара ўқидаги катта тешиқ орқали узатилса, қаттиқ заррача циркуляция тезлиги ортади. Ушбу ҳолатда қаттиқ заррачалар тартибли циркуляцияли қатлам ҳосил қилади. 42г - расмда бир - бирига йўналган горизонтал оқимчалар ёрдамида мавҳум қайнаш жараёнини барпо этиш мумкин. Бунда иккала оқимча бир – бири билан тўқнашиб, тартибли қатлам ташкил қилинади. Саноат миқёсида бундай системалар микробиологик синтез маҳсулотларини грануллаш учун қўлланилади.

Икки оқим (асосий ва оқимча) ёрдамида мавҳум қайнаш қатламини ташкил этиш, донатор қатламли қурилмаларни лойихалашда янги йўналиш очиб берди. Бундай қурилмалар гидродинамик фаол оқимчалар ҳаракати натижасида интенсив циркуляцияли бўлади ва сульфат аммоний, хамир - туруш ишлаб чиқариш саноати қолдиқлари, кунжара ва бошқа материалларни грануллаш учун ишлатилади. Яна шуни алохида айтиб ўтиш керакки, классик мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларга қараганда оқимчали мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларда иссиқлик ва масса алмашилиш жараёнлар тезлиги 3-6 марта интенсивроқ бўлади.

Шуни айтиш керакки, юқорида келтирилган ҳамма усул ва қурилмалар донатор, сочилувчан материаллар учун тўғри келади.

Лекин, донатор - толали материаллар (масалан, пахта чигити ва унинг натижасида ҳосил бўлган иккиламчи маҳсулотлар) учун кўриб чиқилган усуллар яхши натижа бермайди [5,6]. Бунга сабаб, пахта чигитининг момиқлигидир. Маълумки, чигит ташқи юзасидаги пахта толалари (~8...12%) заррачалар ўртасида тортишиш кучларини ҳаддан ташқари кўпайишига олиб келади. Ундан ташқари, пахта чигитининг томчисимон, нотўғри шаклга эгаллиги уни мавҳум қайнаш ҳолатига қийин ўтишининг сабабчисидир.

Юқорида таклиф этилган усулларнинг бирортаси ҳам пахта чигитини мавҳум қайнаш ҳолатига ўтказиш бўйича ижобий натижалар бермади. Шунинг учун ушбу



43-расм. Донадор - толали материаллар учун оқимчали мавхум қайнаш қатламли қурилма.

1 - қобик; 2 – оқимча узатиш ҳалқаси; 3 - тешикли панжара;
4 – оқимча киритиш штуцери; 5 - умумий оқим киритиш штуцери.

дарслик муаллифлари томонидан пахта чигитини турғун, сифатли мавхум қайнаш ҳолатига ўтказиш учун ясси оқимчалардан фойдаланиш тавсия этилди (43-расм).

Донадор - толали материалларни мавхум қайнаш ҳолатига ўтказиш учун қўзғалмас, кенгайган қатламга ясси оқимча киритилди. Натижада, мавхум қайнаш сони $K_w < 1,4$ да мавхум қайнашга эришилди. Бу эса, ҳаво оқими сарфини 30...40% гача тежаш имконини яратади. Кенгайган ($H/H_0 > 1$ бўлган) қатламга гидродинамик фаол ясси оқимча юбориш натижасида қуйидаги масалаларни ҳал этса бўлади:

- энергия сарфи кам режимларда донатор - толали қатламларни мавхум қайнаш ҳолатига ўтказиш мумкин;
- ясси оқимчани девор яқинидаги зонага йўналтириш натижасида классик мавхум қайнаш қатламининг асосий камчиликлари бартараф қилинади;
- материалнинг толалик коэффициентига қараб, $K_w \square 1,4$ гача бўлган ораликда мавхум қайнаш жараёнини ташкил этиш мумкин.

Оқимчали мавхум қайнаш жараёнида донатор - толали қатламнинг ғоваклилиги ушбу формула ёрдамида аниқланади:

$$\varepsilon = A \cdot Re^x \cdot \exp(0,122 \cdot \eta) \quad (118)$$

бу ерда A ва x нинг қийматлари газ оқимининг тезлигига боғлиқ. Бунда коэффициент $A = 0,127...0,265$ ва даража кўрсаткичи $x = 0,103...0,212$ га тенг.

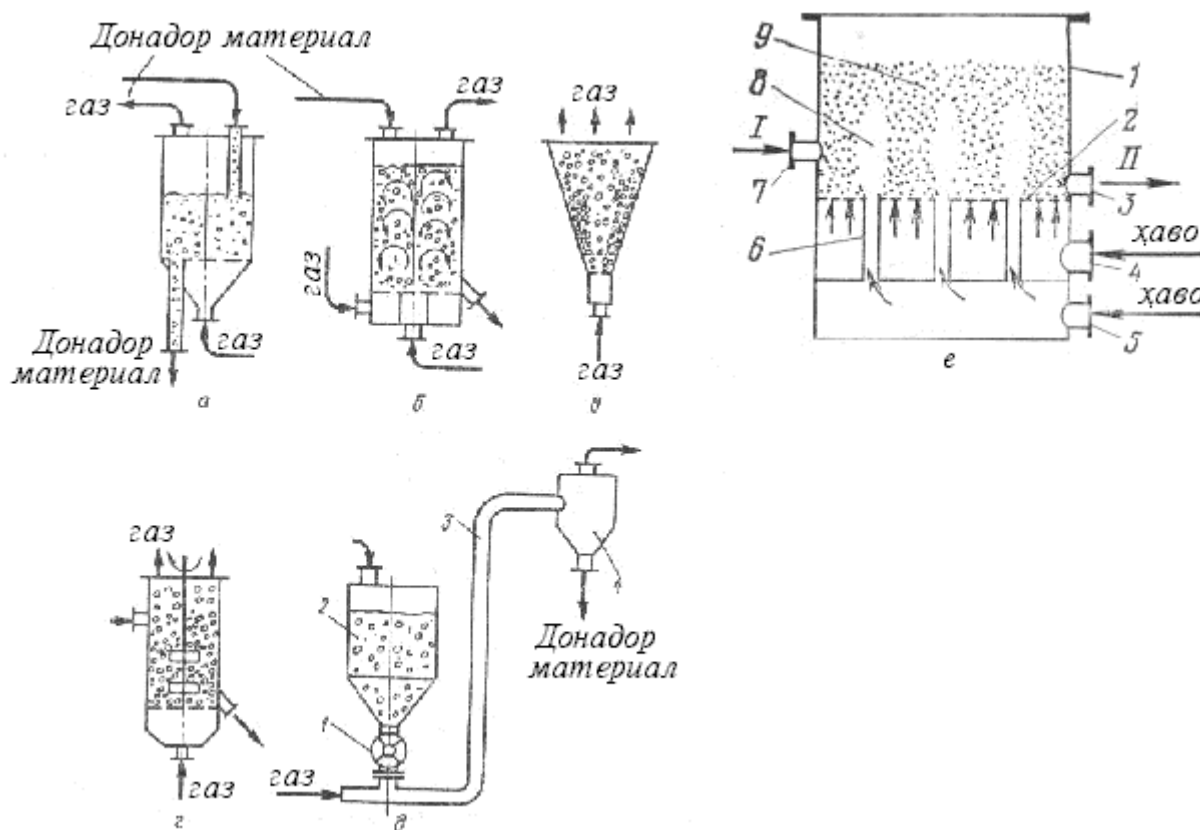
Мавхум қайнаш қатламли қурилмалар

Жараёнлар боришининг технологик шароитларини, ишлаб чиқарилаётган маҳсулот сифатига қўйиладиган талабларни ўзаро таъсирда бўлган моддаларнинг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олувчи жуда кўп мавхум қайнаш қатламли қурилмалар конструкциялари яратилган. 44-расмда мавхум қайнаш қатламли

қурилмаларнинг айрим конструкциялари кўрсатилган.

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.

Жараёнда қатнашувчи қаттиқ материал ва газ оқимининг ҳаракат йўналиши



44-расм. Мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар схемалари.

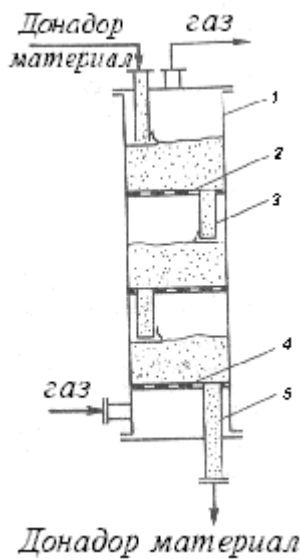
а – цилиндрик узлуксиз ишлайдиган, қарама - қарши йўлли; б - йўналтирилган циркуляцияли; в - конуссимон; г - аралаштиргич мосламали; д - пневмотранспорт мосламали: 1 - шлюзли тамба; 2 - бункер; 3 - паст босимни ҳаво қувури; 4 - циклон; е – фаол оқимчали: 1-қобик; 2- тўр парда; 3,5,7- штуцерлар; 6- сопло; 8- фаол оқимча; 9- мавҳум қайнаш қатлами.

бир хил, қарама - қарши ва кесишган йўлли бўлиши мумкин.

Узлуксиз ишлайдиган, қарама - қарши йўлли цилиндрик қурилмаларда газ оқими тақсимловчи тешикли панжара остига узатилса, материал эса қурилманинг тепа қисмидан юкланади (44а-расм). 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 (44б-расм). Газ тақсимлаш камераси ясси туб ва тешикли панжаралар орасида жойлашган иккита цилиндрдан иборат. Бу конструкцияли камераларда концентрик тўсиқ уни иккита, яъни ички ва ташқи халқаларга бўлади. Ташқи халқа бўшлиғига, ичкига қараганда 2 марта кўп газ юборилади. Турли миқдорда газ узатилгани сабабли, қурилмада дон махсу-лотининг йўналтирилган циркуляцияли ҳаракати пайдо бўлади. Натижада материал интенсив аралашади ва заррачалар ҳаракати қурилма ўқидан цилиндрик девор томонга йўналган бўлади.

Конуссимон қурилмаларда пастдан юқорига қараб тезликнинг пасайиши полидисперс материалларни мавхум қайнатиш имконини яратади (44в-расм). 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 мавхум қайнаш жараёнидан фойдаланиб қуриб 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 мавхум қайнаш жараёнида яхши аралашини таъминлаш ва



45-расм. Узлуксиз ишлайдиган секцияли қурилма.

1 - қобик; 2 - газ тақсимловчи тешикли панжара; 3 - оқиб ўтиш мосламаси.

ҳаракатсиз зоналарни бартараф қилиш мақсадида, ҳамда иссиқлик ва масса алмашиниш жараёнларини интенсивлаш учун газомеханик мавхум қайнаш усулидан фойдаланилади (44г,д-расм). Қатламга қўшимча энергия узатиш турли хил аралаштиргич ва тебратгичлар ёрдамида амалга оширилади (44 г-расм).

Пневмотранспорт усули ва мосламаси донадор материалларни труба қувурлари орқали маълум масофага ёки баландликка узатиш учун мўлжалланган (44д -расм). Донадор материал шлюзли тамба ёрдамида ҳаво узатиш қувурига қадоқланиб тушурилади. Мавхум қайнаш қатлами газ ва қаттиқ фазаларга циклонда амалга оширилади.

Узлуксиз ишлайдиган секцияли қурилма. Жараённинг ҳаракатга келтирувчи кучини камайишга олиб келувчи тескари аралашини камайтириш ва жараён температурасини бир хил қилиш мақсадида қарама - қарши йўлли қурилмаларда секциялаш

қўлланилади (45-расм). Бунинг учун қурилма баландлиги бўйлаб тешикли панжаралар ёрдамида донадор материал қатлами бўлинади. Донадор материалнинг юқори секциялардан пастга қараб ҳаракатланиши, оғирлик кучи таъсирида амалга ошади.

8- Мавзу: Насослар

Умумий тушунчалар

Қурилмаларда ва қувур ичида суюқлик унинг боши ва охиридаги босимлар фарқи туфайли ҳаракат қилади. Суюқликнинг қуйи сатҳдан юқори сатҳга узатиш учун эса, насослардан фойдаланилади. Бунда суюқликка босимнинг потенциал энергияси таъсир эттирилади.

Насос - шундай гидравлик машинаки, унда электр юриткичнинг механик энергияси суюқликнинг ҳаракатланиш (узатиш) энергиясига айлантириб берилади.

Насослар классификацияси

Харакатланиш турига қараб хажмий, куракли (марказдан қочма), уярмавий ва ўқли насосларга бўлинади.

Ҳажмий насосларнинг ишлаш принципи ёпиқ хажм ичида сиқиб чиқариш усулига асосланган бўлиб, илгарилама-қайтма ва айланма ҳаракатлар туфайли суёқлик сиқиб чиқарилади. Ҳажмий насосларга поршенли, ротацион, винтли, шестерняли ва пластиналар гидравлик машиналар киради. Марказдан қочма насосларда босим марказдан қочма куч таъсирида, яъни насос қобиғи (асоси)га жойлашган куракли ғилдиракнинг айланиш туфайли содир бўлади.

Уярмавий насосларда уярма энергияси ҳисобига узатилади. Бу ишчи ғилдиракнинг айланишида уярманинг тезда ҳосил бўлиши ва суниши билан амалга ошади.

Айтиб ўтилган насослардан ташқари, яна оқимчали насослар, ҳамда газлифтлар ва монтежю деб номланадиган машиналардан ҳам фойдаланилади. Бу насосларда газ, сув ва буғларнинг босимларидан фойдаланилади.

Насосларнинг асосий параметрлари

Насосларнинг асосий параметрлари бўлиб унумдорлик, напор ва қувватлари ҳисобланади.

Унумдорлик V (m^3/c) – бу суёқликнинг хажмий сарфи бўлиб, ҳайдаш қузури орқали насос ёрдамида узатилган суёқлик миқдорини билдиради.

Насос напори $H(m)$ – бу насоснинг масса бирлигига эга бўлган суёқликка берган солиштира энергиясидир.

Фойдали қувват N_ϕ (Bm)–напор H ва суёқлик массавий сарфи $\rho g V$ кўпайтмасига тенг миқдордаги суёқлик потенциал энергиясига айтилади:

$$N_\phi = \rho g V H$$

Насос ўқидаги қувват N_e ни аниқлаш учун фойдали қувватни насос фойдали иш коэффициентига бўлиш керак ва у насоснинг йўқотган энергиясини характерлайди:

$$N_e = \frac{N_\phi}{\eta_n} = \frac{\rho g V H}{\eta_n}$$

Насос йўқотган энергияси конструкциянинг мукамаллиги, ишлатиш самарадорлиги ва насоснинг едирилиши ҳисобга олинади:

$$\eta_n = \eta_v \cdot \eta_\Gamma \cdot \eta_{mex}$$

бу ерда η_v – узатиш ф.и.к.; суёқликнинг клапан, сальник, ҳар хил тирқишлардан оқиб чиқиб кетишини ҳисобга олади, яъни $\eta_v = V/V_{наз}$ ҳақиқий унумдорликнинг назарий унумдорликка нисбатини характерлайди; η_Γ – гидравлик ф.и.к.; $\eta_\Gamma = H/H_{наз}$ – хажмий напорни назарий напорга нисбатини билдиради; η_{mex} – механик ф.и.к.; подшипник, сальник ва бошқа элементларда ишқаланишга йўқотилган қувват.

Насоснинг фойдали иш коэффициенти η_n поршенли насослар учун 0,8...0,9, марказдан қочма насос учун 0,7...0,95 ни ташкил этади.

Насос қурилмасининг тўлиқ фойдали иш коэффициенти:

$$\eta = \frac{N_{\phi}}{N_{ю}} = \eta_H \cdot \eta_{уз} \cdot \eta_{ю}$$

бу ерда $N_{ю}$ – юриткич истеъмол куввати; $\eta_{уз}$ – узатиш ф.и.к.; $\eta_{ю}$ – юриткич ф.и.к.

Юриткичнинг аниқ куввати, насосни ишга тушириш онда (вақтида)ги $N_{ю}$ ортикча юкланишини инобатга олган қолда аниқланади.

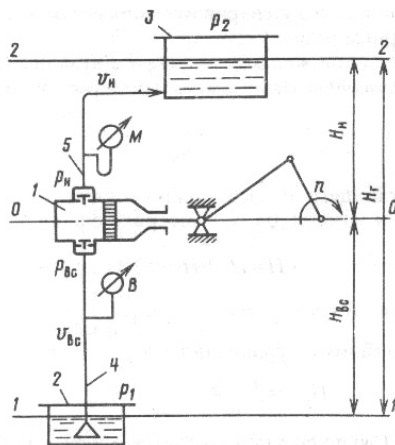
$$N_{ан} = \beta \cdot N_{ю}$$

бу ерда β - кувватнинг захира коэффиценти, бу электр юриткичнинг кувватига қараб 2,0 дан 1,1 гача олинади.

Электр юриткичнинг куввати қанча юқори бўлса, коэффицент β нинг қиймати шунча кичиклашади.

Сўриш баландлиги. Насос қурилмаси насос 1, пастки 2 ва босим ҳосил қилувчи 3 идишлардан, манометр М, вакуумметр В, сўриш 4 ва хайдаш 5 қувурларидан ташкил топган.

Насоснинг напорини аниқлаш учун 1-1 ва 0-0 кесимлари учун Бернулли тенгламасини сўриш режими учун ёзамиз. Таққослаш текислиги деб пастки идишдаги суюқлик сатҳини оламиз:



45-расм. Насос қурилмаси схемаси.

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_{сұр} + \frac{w_{сұр}}{2n} + \frac{p_{сұр}}{\rho g} + h_{сұр.йұқ}. \quad (119)$$

бу ерда p_1 – пастки идишдаги босим; w_1 – 1-1 кесимдаги пастки хажмдаги суюқлик тезлиги; $H_{сұр}$ – сўриш баландлиги; $w_{сұр}$ – сўриш қувуридаги суюқлик тезлиги; $p_{сұр}$ – насоснинг сўриш босими; $h_{сұр.йұқ}$ – сўриш қувуридаги йўқотилишлар.

Хайдаш режими учун 0-0 ва 2-2 кесимлари учун тузилган Бернулли тенгламаси (таққослаш текислиги деб насос ўқидан утган 0-0 текислиги олинади) қуйидагича ёзилади:

$$\frac{p_{уз}}{\rho g} + \frac{w_{уз}^2}{2g} = H_{уз} + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + h_{уз.йұқ} \quad (120)$$

бу ерда, $p_{уз}$ – узатиш (хайдаш) босими; $w_{уз}$ – хайдаш қувуридаги тезлик; $H_{уз}$ – узатиш баландлиги; w_2 – 2-2 – кесимдаги юқори идишдаги суюқлик тезлиги; p_2 – хайдаш идишидаги босим; $h_{уз.йұқ}$ – хайдаш қувуридаги йўқотилиш.

Сўриш ва хайдаш қувурларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқоридаги идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлгани учун, улар нолга тенг ($w_1=0$; $w_2=0$).

(119) ва (120) тенгламаларни ҳисобга олиб насоснинг напорини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = \frac{p_{уз} - p_{сұр}}{\rho g} = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{w_{сұр}^2 + w_{уз}^2}{2n} + H_{сұр} + H_{уз} + h_{сұр.йұқ} + h_{уз.йұқ} \quad (120a)$$

Сўриш билан хайдаш қувури ўзаро тенг бўлганда, ушбу тенгликни соддалаштириш мумкин бўлади, яъни $w_{сұр} = w_{уз}$. Суюқликни геометрик узатиш баландлиги эса, $H_c = H_{сұр} + H_{уз}$, бундан қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + H + h_{\text{йук}} \quad (121)$$

бу ерда $h_{\text{йук}} = h_{\text{сър}} + h_{\text{уз.йук}}$ - босимнинг умумий йўқотилиши.

Агарда юқоридаги ва пастки идишдаги босимлар тенг бўлса, яъни $P_2 = P_1$, у холда:

$$H = H_z + h_{\text{йук}} \quad (122)$$

(122) тенгламага биноан, насоснинг босими, суюқликни геометрик баландлик H_z кўтаришга, идишлардаги босимлар фарқини, сўриш ва хайдаш идишлардаги гидравлик қаршиликларни енгишга сарф бўлади.

Горизонтал жойлашган қувур орқали сув узатилганда ($H_z = 0$), насос босими фақат қаршиликларни енгиш учун сарфланади:

$$H = h_{\text{йук}} \quad (123)$$

Ишлаётган насоснинг босимини (напорини) вакуумметр H_v ва манометр H_m ларнинг кўрсаткичлари асосида аниқлаш мумкин:

$$H = H_m + H_v + h$$

бу ерда h – манометр ва вакуумметрлар орасида масофа.

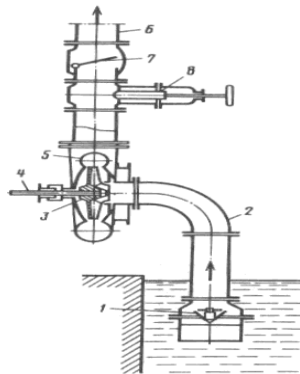
(123) тенгламадан сўриш баландлигини кўриб чиқсак:

$$H_{\text{сър}} = \frac{P_1 - P_{\text{сър}}}{\rho g} - \frac{w_{\text{сър}}^2}{2g} - h_{\text{сърйук}} \quad (124)$$

w_1 тезлик қиймати $w_{\text{сър}}$ га нисбатан анча кичик бўлгани учун, $w_1 = 0$ деб қабул қилсак бўлади.

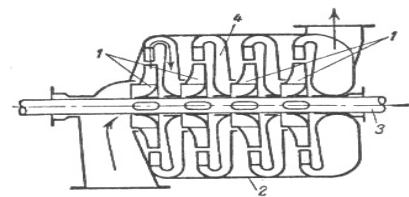
(124) тенгламадан шу нарса кўриниб турибдики, $P_{\text{сър}}$ камайиши билан сўриш баландлиги ортади. Суюқлик насос ичида қайнаб кетмаслиги учун, $P_{\text{сър}}$ қиймати суюқлик узатилаётган температурадаги сув буғи тўйиниш босими P_v дан катта бўлиши керак, яъни $P_{\text{сър}} > P_v$.

Шундай қилиб, сўриш баландлигининг чегаравий қийматини қуйидагича аниқлаймиз:



46-расм. Марказдан қочма насос схемаси.

1,7- клапан; 2- сўриш кувири; 3- ишчи филдирак;
4- ўқ; 5- қобик; 6- хайдаш кувири; 8- задвижка.



47-расм. Кўп босқичли, марказдан қочма насос схемаси.

1-ишчи филдирак; 2-қобик; 3- ўқ; 4- айланма канал.

$$H_{\text{сър}} \leq \frac{P_{\text{ам}} - P_t}{\rho g} - \frac{w_{\text{сър}}^2}{2n} - h_{\text{сърйук}}$$

бу ерда $P_{\text{ам}}$ – атмосфера босими; $P_{\text{ам}} = P_1$.

Акс холда, суюқлик насос ичида қайнаб кетади, ва интенсив буғ хосил бўлишга олиб келади. Буғ пуфакчалари суюқлик билан юқори босимли зонага кириб қолса, томчига айланиб, бўшлиқлар хосил қилади, гидравлик зарба шокин бўлишига олиб келади, яъни кавитация ходисаси содир бўлади.

Кавитация бўлиши насос унумдорлигини пасайтиради, гидравлик зарба билан ишлаган насос, тез бузилади, коррозияга учрайди ва унинг тез бузилишига олиб келади.

Марказдан қочма насослар

Ишлаш принципи. Марказдан қочма насослар оқим кинетик энергиясини босимнинг потенциал энергияга айлантириб беришига асосланиб ишлайди (46-расм). Бу турдаги насосларда суюқликни сўриш ва узатиш марказдан қочма куч таъсирида бўлиб, бу куч насос ишчи ғилдирагига жойлашган спиралсимон куракчаларни айланишидан хосил бўлади. Куракчалар суюқлик оқиб ўтадиган канални хосил қилади.

Суюқлик, сўриш трубаси орқали, ишчи ғилдирак ўқи бўйлаб, насосга киради.

Ишчи ғилдирак суюқликка айланма ҳаракат беради. Марказдан қочма куч таъсирида суюқлик насос қобиғи билан иш ғилдираги орасидаги ўзгарувчан кўндаланг кесимли каналга кириб боради. Каналда суюқлик тезлиги узатиш қувиридаги тезлик қийматигача камаяди.

Натижада ишчи ғилдирагига киришдаги босим пасайиб, суюқлик бетўхтов насосга сўриб борилади. Марказдан қочма турдаги насосни ишга туширишдан олдин насос ичида сийракланиш хосил қилиш учун унинг ичига суюқлик қуйилади. Насосдан суюқлик орқага оқиб кетмаслиги учун, қайтариш клапани сўриш трубасига ўрнатилган бўлади. Гидравлик машиналар бир ва кўп босқичли насосларга бўлинади.

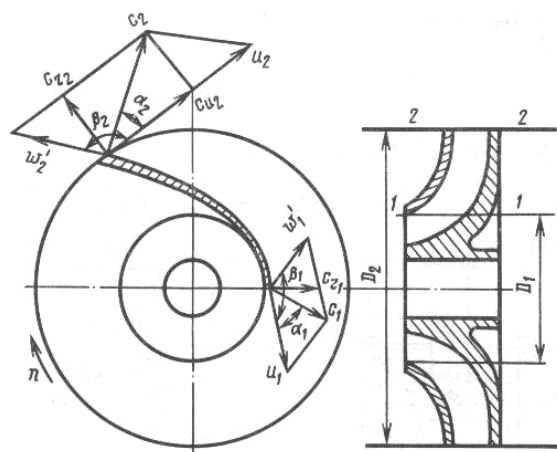
Бир босқичли насоснинг босими 50 м сув устунидан ошмайди. Шунинг учун юқори босим хосил қилиш учун бир ўқнинг ўзига кетма-кет бир неча ишчи ғилдираги ўрнатилади.

Кўп босқичли насоснинг босими ғилдирак сонига пропорционал. Кўпинча ғилдираклар сони бештадан ортмайди (47-расм).

Марказдан қочма насоснинг асосий тенгламаси (Эйлер тенгламаси). Маълумки, айланиш ўқиға нисбатан вақт бирлиги ичида маълум бир суюқлик массаси ҳаракат миқдорининг ўзгариши, ҳамма ташқи кучлар моментларининг йиғиндисига тенг, яъни айланиш моментига тенг.

Суюқликни ғилдиракка киришдаги абсолют ҳаракат тезлиги C_1 тезликли мос равишда нисбий тезликлар w_1 ва w_2 ва айланма тезликлар u_1 ва u_2 нинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади (48-расм). ғилдирак кураги бўйлаб ҳаракатланаётган элементар оқимча учун, ғилдиракка киришда:

$$\Delta m \cdot C_1 = \rho \cdot \Delta V C_1 \cdot \Delta \tau$$



48–расм. Марказдан қочма насоснинг асосий тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

ғилдиракдан чиқишда эса:

$$\Delta m \cdot C_2 = \rho \Delta V \cdot C_2 \cdot \Delta \tau$$

бу ерда ρ - суюқлик зичлиги; ΔV – суюқлик оқимчаси ҳажми.

2-2 ва 1-1 кесимлар учун мос равишдаги ҳаракат миқдори моментлари:

$$M_2 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_2 \Delta \tau \cdot r_2 \cdot \cos \alpha_2;$$

$$M_1 = \rho \cdot \Delta V \cdot C_1 \Delta \tau \cdot r_1 \cdot \cos \alpha_1,$$

бу ерда r_1 ва r_2 – ишчи ғилдиракнинг ташқи ва ички радиуслари; α_1 ва α_2 - суюқликни ғилдиракга кириш ва чиқишдаги абсолют ва айланма тезликлари орасида бурчак.

Ҳаракат миқдори моменти электр юриткичдан бериладиган энергия ҳисобига ошириш мумкин.

$\Delta \tau=1$ вақт ичида ҳаракат миқдори моменти ортиши:

суюқлик оқимчаси учун:

$$\Delta M = M_2 - M_1 = \rho \Delta V (C_2 r_2 \cos \alpha_2 - C_1 r_1 \cos \alpha_1)$$

суюқликнинг бутун массаси учун:

$$\sum \Delta M = \sum \rho \Delta V (C_2 r_2 \cos \alpha_2 - C_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (125)$$

Идеал оқим учун ҳамма ҳаракат энергияси ҳаракат миқдори моментининг ортишига сарфланади. Ташқи айлантириш (буриш) моменти:

$$M = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho g V H}{\omega} \quad (126)$$

Ташқи четки тезликлар $u_1 = r_1 \cdot \omega$ ва $u_2 = r_2 \cdot \omega$ ни ҳисобга олиб ва (125) ва (126) ни тенглатиб ва (127) тенгламани H_m га нисбатан ечганда, марказдан қочма насос учун Эйлер тенгламасига эга бўламиз:

$$H_{\text{наз}} = \frac{1}{g} (C_2 \cdot u_2 \cdot \cos \alpha_2 - C_1 \cdot u_1 \cos \alpha_1) \quad (127)$$

Суюқликни ғилдиракка урилмасдан кириши ва ундан чиқиши шартини ҳисобга олиб, $\alpha_1=90^\circ$ ва $\alpha_2=10...15^\circ$ қабул қилинса, (127) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$H_{наз} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (128)$$

(128) расмга қараб, тезликлар параллелограммасидан $C_2 \cdot \cos \alpha_2 = C_{u2} \cdot \alpha_1 = 90^\circ$ бўлганда:

$$H_{наз} = \frac{1}{g} \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \quad (129)$$

(129) тенгламаси ишчи ғилдирагининг чексиз сонли куракчалари учун олинди. Шунинг учун куракчалар сонини ҳисобга олувчи ε коэффициент (2.88) тенгламага киритилади, унинг қиймати $\varepsilon = 0,6 \dots 0,8$ га тенг.

Ҳақиқий хажмий босим назарий босимдан доимо кам бўлади. Чунки энергия насосдаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун сарфланади:

$$H = \frac{1}{g} \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2 \cdot C_{u_2} \quad (130)$$

бу ерда η_r – гидравлик фойдали иш коэффициентини $0,8 \dots 0,95$ га тенг бўлади.

Насос босими маълум даражада куракларнинг шаклига ҳам боғлиқ бўлиб, айланма ва нисбий тезликлар вектори орасидаги β_2 бурчак ёрдамида аниқланади (132-расм).

Тезлик параллелограммасидан:

$$C_{u_2} = u_2 - C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg}(180 - \beta_2) = u_2 + C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg} \beta_2$$

Унда:

$$H = \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r (u_2^2 + u_2 \cdot C_{r_2} \cdot \operatorname{ctg} \beta_2) \quad (132)$$

$\beta_2 < 90^\circ$ бўлганда (куракчалар ишчи ғилдиракнинг айланиш йўналиши бўйича эгилган бўлса): $C_r \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 > 0$ **ва** $H > \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$. $\beta_2 > 90^\circ$ да эса (куракчалар ишчи ғилдиракнинг айланиш йўналишига қарама-қарши букланган): $C_r \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 < 0$ **ва** $H < \frac{1}{g} \cdot \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$ куракчалар радиал бўлганда $\beta_2 = 90^\circ$, $C_r \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 = 0$ **ва**

$$H = \frac{1}{g} \varepsilon \cdot \eta_r \cdot u_2^2$$

Демак, энг катта босим куракчалар ишчи ғилдирагининг айланиш йўналиши бўйича букланган ҳолатга тўғри келади (49-расм). Ғилдиракдаги гидравлик йўқотишлар кам бўлиши учун, куракчалар қуйидагича букланади $\beta_2 = 140 \dots 164^\circ$ ва $\beta_1 = 153 \dots 166^\circ$ бўлади (49-расм).

Марказдан қочма насосларда унумдорлик маълум миқдорда ишчи ғилдирак каналларининг эркин кесим юзалари ёрдамида аниқланади (49-расмга қаранг).

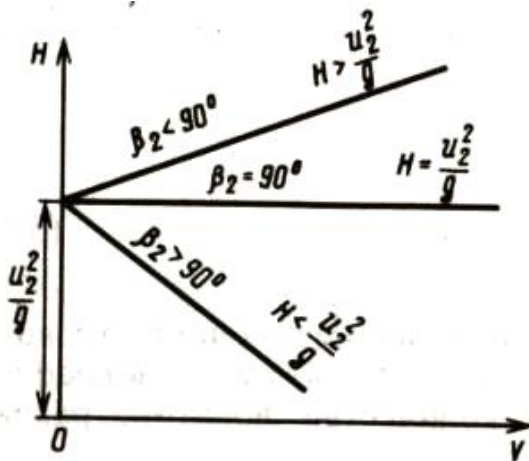
Назарий унумдорлик ушбу тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$V_n = F_2 \cdot C_{r_2} = (\pi \cdot D_2 - z \cdot \delta) \cdot b \cdot C_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (133)$$

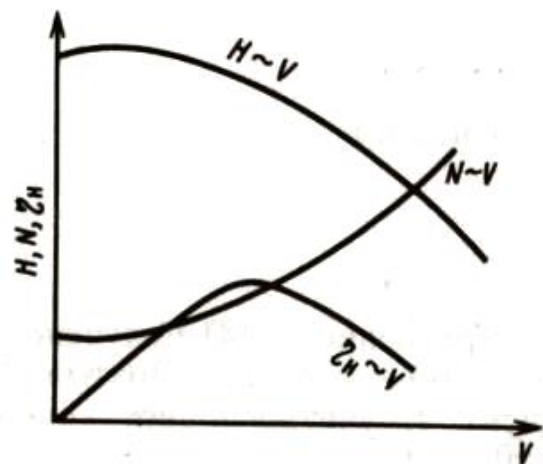
бу ерда F_2 – ишчи ғилдиракнинг ташқи айлана бўйича эркин кесим канали юзаси; C_{r_2} – суюқликнинг ишчи ғилдиракдан чиқишдаги абсолют тезлигининг радиал ташкил этувчиси; D_2 – ғилдиракнинг ташқи диаметри; z – куракчалар сони; δ – куракчалар қаршилиги; b – ғилдирак эни.

Насоснинг ҳақиқий унумдорлиги:

$$V = \eta_v \cdot V_T$$



49-расм. Марказдан қочма насос напорига β_2 бурчакнинг таъсири.



50-расм. Марказдан қочма насоснинг хусусий характеристикаси.

бу ерда η_v —насоснинг хажмий фойдали иш коэффициентини.

Марказдан қочма насослар характеристикалари. Насослар ишини таҳлил қилиш учун уларни хусусий ва универсал характеристикаларидан фойдаланилади.

Насоснинг хусусий характеристикаси босим H , талаб этилаётган қувват N , насоснинг фойдали иш коэффициентини η_n ларнинг $n=const$ бўлгандаги унумдорлик V га нисбатан ўзаро боғлиқлигидир.

Насоснинг босимини унумдорлик билан боғлиқлигини аниқлаш учун, тезликнинг радиал ташкил этувчиси C_{r2} ни унумдорлик орқали (134) тенгламага биноан қуйидаги кўриниши:

$$C_{r2} = \frac{V}{\eta_v \cdot F_2}$$

ва (134) га қўйиб ушбу тенгламани оламиз:

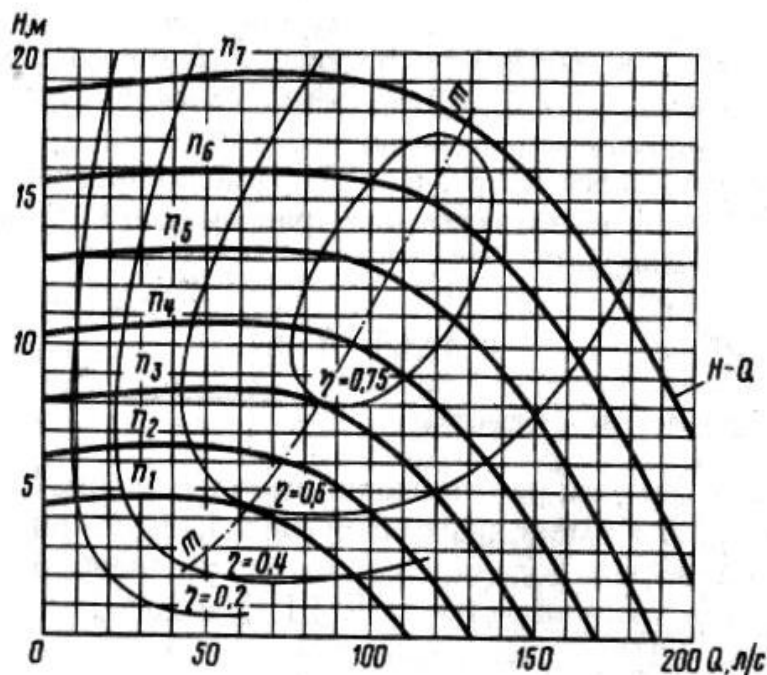
$$H = \eta_r \cdot \left(\frac{u_2^2}{g} + \frac{u_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2}{g \eta_v \cdot F_2} \cdot V \right) \quad (134)$$

Ушбу насос учун U_2 , β_2 , η_v , F_2 лар ўзгармас катталиқ бўлиб, H нинг V дан боғлиқлиги (134) тенгламага биноан тўғри чизиқ билан ифодаланади:

$$H = \eta_r (A + BV)$$

бу ерда A ва B - ўзгармас коэффициентлар.

Ҳақиқатда эса тажриба бўйича $n=const$ бўлганда, H нинг V га боғлиқлиги эгри чизиқни беради (49-расм), яъни, унумдорлик ошган сари насос босими пасаяди, истеъмол қуввати эса ортади. Фойдали иш коэффициентининг қиймати эса максимумдан ўтиб кетади. Маълумки, насоснинг фойдали иш коэффициентини фойдали қувват ($N_\phi = \rho g V H$) нинг насос ўқидаги қуввати нисбатига тенг. Фойдали қувват суюқликка энергиясини беришга сарф бўлади. $V=0$ ва $V=V_{\max}$ бўлганда, фойдали қувват нолга тенг, яъни $H=0$ бўлади. Сўриш қувири лўкидони берк бўлганда, яъни $V=0$ да, насос энг кам қувват истеъмол қилади.



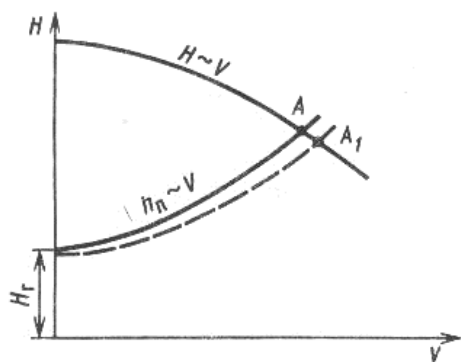
50 – расм. Айланиш частотаси n бўлганда марказдан қочма насоснинг универсал характеристикаси

Насосни эксплуатация қилганда энг самарали иши $\eta_n - V$ координатларидаги, маълум айланиш частотасидаги эгри чизикнинг максимумига тўғри келадиган оралиқ H ва V зонасига тўғри келади.

Насоснинг универсал характеристикаси насос ишининг чегаравий қийматлари ҳақида маълумотлар ва бунда фойдали иш коэффициентининг максимал қийматини, унинг оптимал иш режимини танлашга имконият беради.

Насос универсал характеристикаси ишчи ғилдирагининг турли айланиш частоталари учун олинади. Бунда $H - V$ боғлиқлик бир неча марта олинади. Ҳар бир $H - V$ эгри чизикда ўзгармас фойдали иш коэффициентининг ($\eta'_n, \eta''_n, \eta'''_n, \dots$) қийматларига тегишли нуқталар ажратилади. $m - m$ чизиғи фойдали иш коэффициентларининг максимум қийматларига тенг бўлади (50-расм).

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



51-расм. Насоснинг тармоқ характеристикаси.

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

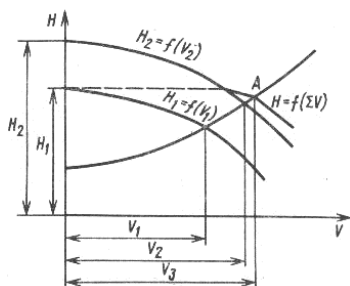
51-расмда насос ва тармоқнинг характеристикаси кўрсатилган. Бу характеристикаларнинг кесишган жойи A иш нуқтаси дейилади. Ушбу тармоқда насос ишлагада бу нуқта энг юқори унумдорлик эканлигини билдиради. Агар каттароқ микдорда унумдорлик керак бўлса, электр юриткичнинг айланишлар частотасини ошириш зарур ёки тармоқда босим йўқотилишини, ҳамда

геометрик узатиш баландлигини камайитириш керак.

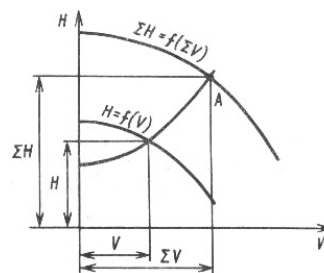
Тармоқда босим йўқотилиши камайитирилганда, иш нуқтаси (A_1) ўнгга сурилади. Агар, юқорида қайд этилган, уччала усулда ҳам унумдорлик ошмаса, у холда насос янада қувватлиси билан алмаштирилади.

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

Насосларнинг **йиғма** характеристикасини хар бир насос характеристикаси



52-расм. Параллел уланган икки насоснинг биргаликда ишлаши.



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

абсциссалари йиғиндисиди орқали олинади.

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

Босимнинг ортиши учун насослар кетма-кет уланиши керак. Бу холда йиғма характеристика алохида насосларнинг характеристика ординаталарини қўшиш йўли билан олинади. Бу характеристика билан тармоқ характеристикаси кесилишган нуқтаси йиғма босим ва унумдорликни аниқлаб беради (53-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 β_1 ва β_2 ларни ўзгартириш билан амалга ошириш мумкин. Бурчакни ўзгартирганда насос унумдорлигини катта қийматга оширишга эришса бўлади.

Пропорционаллик қонуни. Марказдан қочма насосларнинг напори ва унумдорлиги насос ишчи ғилдирагининг айланиш частотаси (сони)га боғлиқ бўлади. (135) тенгламага мувофиқ насос напори айланма тезлик квадратига боғлиқ, яъни $H \sim c_2 u_2$.

Агар айланишлар сони n_1 да напор H_1 бўлса, $n_2 \sim H_2$ бўлади деб хулоса қилсак, унда:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{u'_2}{u''_2} \right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2, \quad \text{яъни} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (135)$$

(135) тенгламадан эса, насос унумдорлиги суяқлик ғилдирагидан ажралишдаги абсолют тезлигини радиал ташкил этувчисига пропорционал, яъни $V \sim C_{r2}$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{C'_{2r}}{C''_{2r}} = \frac{u'_2}{u''_2} = \frac{\pi D_2 n_1}{\pi D_2 n_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (136)$$

Насос талаб этадиган қувват эса, унумдорлик ва напорнинг кўпайтмасига пропорционал (135) ва (136) тенгламаларга биноан қуйидаги кўринишни ҳосил қиламиз:

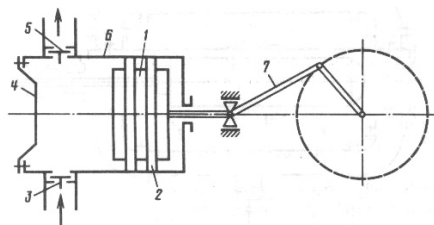
$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (137)$$

(136) - (137) тенгламалар пропорционаллик қонуни тенгламалари дейилади. Бироқ бу тенгламаларни тахминий ҳисоблар учун ишлатиш мумкин. Аниқ ҳисоблар учун эса, насос иш ғилдирагини айланишлар частотаси билан фойдали иш коэффиценти инобатга олиниши керак. Шунини қайд этиб ўтиш керакки, пропорционаллик қонунлари, айланишлар сони бир-биридан 2 баробардан ортиқ фарқ қилгандагина қўллаш мумкин.

Поршенли насослар

Поршенли насослар плунжер ёки поршенни цилиндрда илгарилама-қайтма ҳаракати ёрдамида суяқликни сиқиб чиқариш принципага асосланган (2.35-расм). Поршенни ўнг томонга қилган ҳаракатидан кейин, цилиндрнинг чап қисмида хавони сийракланиши содир бўлиб, сўриш клапани очилади ва сўриш қузури орқали суяқлик цилиндрга тортиб олинади. Поршен чапга сурилганда сўриш клапани беркилиб, узатиш клапани очилади ва суяқлик хайдаш қузури орқали узатила бошлайди.

Поршен кривошип-шатунли механизм ёрдамида ҳаракатга келтирилади.



54-расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи, горизонтал поршенли насос схемаси.

1- поршен; 2- зичловчи ҳалқалар; 3- сриш клапани; 4- цилиндр копқоқи; 5- ҳайдаш (узатиш) клапани; 6- цилиндр; 7- кривошип – шатун механизми.

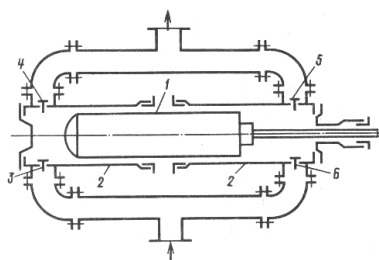
Поршен цилиндрда зичловчи ҳалқалар ёрдамида сиқиб турилади. Поршенли насослар узатмаси турига қараб, бевосита уланувчи ва узатмали бўлади.

Бевосита уланган насослар буғ насослар ёрдамида ҳаракатланади, бунда насос поршен билан битта штокда жойлашган бўлади. Узатмали насослар электр юриткич ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Насослар кривошип айланиш частотасига қараб, секин айланадиган ($n=45\ldots60$ мин⁻¹), ўртача ($n=60\ldots120$ мин⁻¹) ва тез айланадиган ($n=120\ldots180$ мин⁻¹)ларга бўлинади.

Поршенли насослар вертикал ва горизонтал бўлиши мумкин.

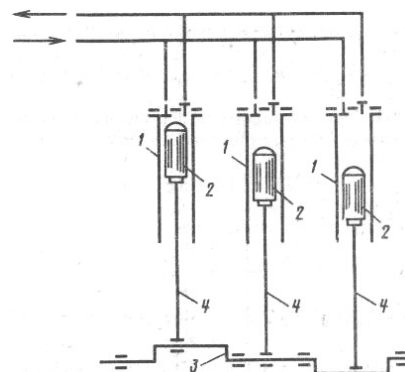
Юқори босимли насослар 100 МПа гача бўлган босимни таъминлаб берса, юқори маҳсулдорлик насос эса, соатига 60 м³ суюқлик хайдаб беради.

Поршенли насослар учун сўриш ва узатиш жараёни даврий бўлиб, суюқликни



55-рasm. Икки томонлама ҳаракатланувчи насос схемаси.

1- плунжер; 2- цилиндрлар; 3,6- сўриш клапанлари; 4,5- ҳайдаш клапанлари.



56-рasm. Уч томонлама ишлайдиган насос схемаси (триплекс-насос).

1-цилиндрлар; 2- плунжерлар; 3- тирсакли ўқ; 4- шатунлар.

узатиш бир текис амалга ошмайди.

Нотекис узатишни бартараф этиш учун кўп томонлама таъсир этувчи насослар қўлланилади.

Икки томонлама таъсир этувчи насосда 2 та сўриш ва 2 та узатиш клапани бор (55-рasm). Кривошип тўлиқ айланиб чиққанда цилиндрнинг ҳам чап, ҳам ўнг томонидан навбатма-навбат узатиш ва сўриш жараёнлари содир бўлади.

Плунжернинг ўнг томонга кўзғалишида, чап томонидаги сўриш клапани очилади ва суюқлик цилиндрнинг бўшлиғига сўрилади. Шу вақтда эса, ўнг томондаги узатиш клапани очилиб, суюқлик цилиндрнинг ўнг қисмидан қувурга узатилади. Плунжер орқага қайтганда эса, ўнг томоннинг сўриш клапани очилиб, чап томоннинг узатиш клапани очилади.

Плунжерда сиқиш халқалари бўлмайди ва узунлигининг диаметрига нисбати катта бўлади.

Суюқликни бир текисда узатишни таъминлаш учун уч томонлама ҳаракатланадиган насослар ёрдамида амалга ошириш мумкин. Оддий ҳаракатли (бир томонлама) насосларни кетма-кет жойлашган бўлиб, бундай кривошиплар ўзаро 120° бурчак остида кетма-кет жойлашган бўлади (56-рasm).

Кривошипнинг тўлиқ битта айланишида, 3 марта сўриш ва 3 марта узатиш жараёни содир бўлади.

Поршенли насос поршенининг битта ҳаракатидаги назарий унумдорлиги, поршенинг вақт бирлигида ҳосил қилган ҳажми билан аниқланади.

Агар поршен сиқиб чиқараётган суюқлик ҳажми (m^3) $V = f \cdot S$ бўлса, унда бир

йўлли насоснинг ўртача назарий унумдорлиги ($m^3/soat$):

$$V_H = 60 \cdot f \cdot S \cdot n$$

бу ерда f – цилиндрнинг кўндаланг кесими; S – поршен йўли узунлиги, яъни бошланғич ва охири ҳаракат нуқталари орасидаги масофа; n – айланишлар частотаси.

Икки томонлама ҳаракатланадиган насосдаги кривошипнинг 1 та тўлиқ айланганида 2 та марта сўриш ва 2 марта узатиш содир бўлади. Поршеннинг ўртача қилган ҳаракатида цилиндр ичига $f \cdot S$ га тенг бўлган миқдорда суюқлик сўрилади, ўнг томондан эса $(f - f_{\text{жк}}) \cdot S$ миқдорида суюқлик сиқиб чиқарилади ($f_{\text{жк}}$ – штокнинг кўндаланг кесими).

Насоснинг назарий унумдорлиги:

$$V_H = f \cdot S \cdot n + (f - f_{\text{жк}}) \cdot S \cdot n = 2 \cdot f \cdot S \cdot n - f_{\text{жк}} \cdot S \cdot n$$

Ўқнинг кўндаланг кесим юзасини кичик деб олинса $f_{\text{жк}} \ll f$, бир соатлик назарий узатиш миқдори:

$$V_H = 2 \cdot f \cdot S \cdot n \cdot 60 \quad (138)$$

Насоснинг ҳақиқий унумдорлиги қуйидагича:

$$V_{\mu} = \eta_v \cdot V_H :$$

бу ерда η_v – клапан, сальник ва қувур тиркишларидан оқиб чиқиш пайтида, йўқотиладиган суюқликни ҳисобга оладиган **фойдали иш коэффициенти** - $\eta_v = 0,85 \dots 0,99$.

Кўп босқичли насосларнинг ҳақиқий унумдорлиги ($m^3/soat$) да:

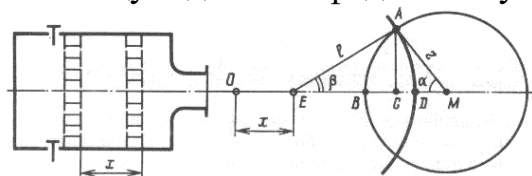
$$V_x = i \cdot 60 \cdot \eta_v \cdot f \cdot S \cdot n \quad (139)$$

бу ерда i - ҳаракат қарралиги.

Бу формула насоснинг ўртача унумдорлигини ифодалайди, лекин поршенни 1 марта бориб келишида суюқликнинг узатилиши нотекис амалга ошади.

Ихтиёрий вақтда поршенли насос узатган суюқлик миқдорини аниқлаш учун, поршен ҳаракати қонуниятини билиш керак.

Поршенни x миқдорда газ сўриши кривошипнинг бурилиш бурчаги α га нисбатан қуйидагича ифодалаш мумкин (57-расм).



57-расм. Поршен ҳаракат қонунини келтириб чиқаришга оид.

Поршенни чап томонини охири ҳолатида ползун O нуқтада жойлашади. Поршеннинг ўнгга қилган ҳаракатида эса, ползун қандайдир E нуқтага сурилади. Кривошипнинг босиб ўтган йўли эса, кривошип буриладиган α бурчак ёрдамида аниқланиб, у A (нуқта) га жойлашади.

Қуйидаги ҳисоблаш ишини кўриб чиқамиз: E нуқтадан l радиусли шатун узунлигида AD ёйини чизиб, A нуқтадан горизонтал чизиққа AC перпендикуляр туширамиз.

Поршен босиб ўтган x масофа эса: $x = BD = BC + CD$ бўлади. Лекин, $BC = MB - MC = r - r \cdot \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha)$, $CD = ED - EC = l - l \cos \beta = l(1 - \cos \beta)$. Бу ерда r кривошип узунлиги. Демак:

$$x = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \cos \beta)$$

Лекин $\cos \beta$ ни бирга яқин деймиз, чунки $l \gg r$ ва бурчак $\beta \rightarrow 0$, шундай қилиб

$x=r(1-\cos\alpha)$. Бунда поршеннинг ҳаракат тезлиги:

$$C_n = \frac{dx d\alpha}{d\tau d\alpha} = r \cdot \sin\alpha \frac{d\alpha}{d\tau} = \omega \cdot r \cdot \sin\alpha$$

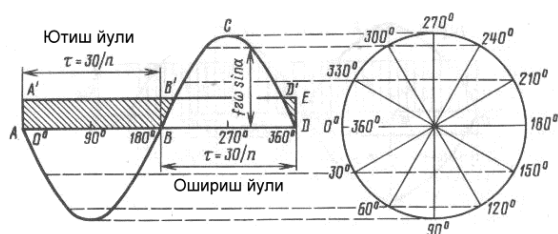
бу ерда: ω – кривошипнинг айланма бурчак тезлиги.

Шундай қилиб, оний узатиш синусоидал қонун бўйича ўзгаради:

$$V=f \cdot C_n = f \cdot r \cdot \omega \cdot \sin\alpha \quad \text{ва} \quad dV=f \cdot r \cdot \sin\alpha \cdot d\tau$$

$$\text{лекин} \quad \omega = \frac{d\alpha}{d\tau}; \quad \text{унда} \quad dV=f \cdot r \cdot \sin\alpha d\alpha$$

Кривошипнинг бурилиш бурчаги α ни абсцисса ўқиға қўйсақ, оний қўзғалишни эса, ордината ўқиға жойлаштирамиз (58-расм). Синусоида билан чегараланган майдон, поршеннинг 1 та босиб ўтган йўлида, яъни кривошипнинг ҳаракати йўли эса π дан 2π гача бўлади, насос узатган суюқлик ҳажмиға пропорционал бўлади (58-расмға қаранг).



58-расм. Оддий насоснинг узатиш диаграммаси.

$$V = \int_{\pi}^{2\pi} dV = fr \int_{\pi}^{2\pi} \sin\alpha \cdot d\alpha = 2fr = f \cdot S \quad (140)$$

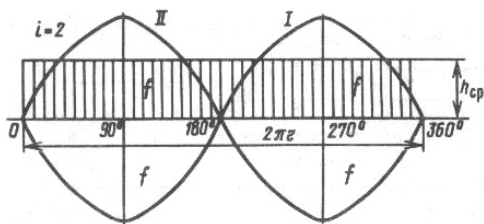
58-расм кривошип бурилиш бурчаги π дан 2π гача кўрсатилган бўлиб, бу абсцисса ўқида ажратилган оралиқ вақтиға пропорционал.

Оддий насос сўриш йўлиға мос бўлган ўқнинг биринчи ярим айланишида суюқликни узатмайди ва бу абсцисса ўқида 0 дан π гача узатиш чизиғи абсцисса билан мос келади (AB чизиғи). Оддий насоснинг кривошипи тўлиқ айланиши ёки поршеннинг 2 марта бориб-келиш ABCD чизиғи билан ифодаланади.

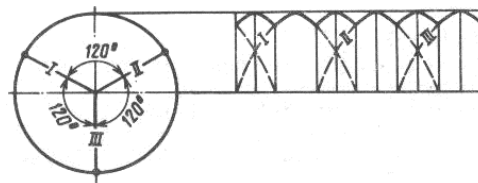
Кривошипнинг бурилиш бурчаги $\alpha=90^\circ$ бўлганда, максимал узатиш бўлади. Насоснинг нотекис узатиши қуйидаги нисбат билан аниқланади: $\psi = V_{\text{мак}}/V_{\text{ур}}$. Оддий ҳаракатли насос учун нотекислик коэффиценти $\psi_I = \pi$ бўлса, икки томонлама ҳаракатли насос учун $\psi_{II} = \pi / 2 = 1,57$, учталиқ учун эса $\psi_{III} = 1,047$.

Икки томонлама ҳаракатли насоснинг узатиш диаграммаси бир-бириға нисбатан ўгирилган синусоидалар ташкил этади (59-расм), 3 босқичли насос учун эса 3 та синусоиданинг 120° га сурилган бўлади (59-расм).

Натижавий узатиш эгри чизиғи I, II ва III ордината эгри чизиқларининг йиғиндиси бўлиб, хизмат қилади, чунки улар оддий насосларнинг узатиш давриға тўғри келади. Графикдан кўриниб турибдики, 3 босқичли насосларнинг суюқлик узатиши текисланиб боради.



60-расм. Икки томонлама
ҳаракатланувчи насоснинг
узатиш диаграммаси



59-расм. Уч босқичли насоснинг
узатиш диаграммаси.

Оддий насосларнинг узатиш ва сўриш қувурларидаги нотекисликни камайтириш учун уларга бевосита ҳаво қалпоқчалари ўрнатилади. Ҳаво қалпоқчалари буфер ҳажм ҳисобланиб, унинг 50% ҳажмини ҳаво эгаллайди. Сўриш пайтида, қалпоқчага суюқлик кирганда ундаги ҳаво сиқилади, агар, узатиш ўртача қийматдан камайса, суюқ ичидан чиқариб юборилади. Қалпоқчадаги ҳаво босимининг ўзгариш фарқи кам бўлса, суюқликнинг сўриш ва ҳайдаш қувурларида ҳаракати бир текисда бўлади.

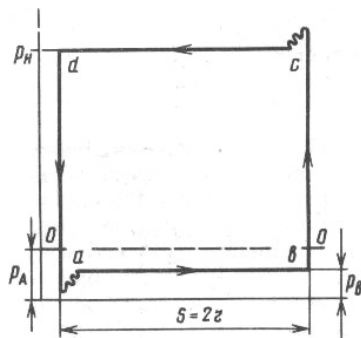
Поршенли насоснинг унумдорлиги узатиш босимига боғлиқ бўлмасдан доимий, катталиқ бўлиб қолади.

Насос қувватини ҳисоблашда ва иш жараёнидаги носозликларни аниқлашда индикатор диаграммасидан фойдаланилади.

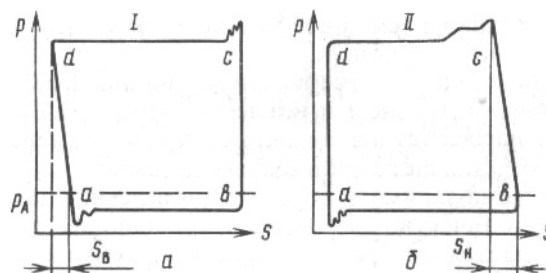
Насос цилиндрини абсолют босимини поршен босиб ўтган йўли ёни ҳажмига боғликлигини кўрсатиб беради. Насос цилиндрига, ўрнатилган индикатор ёрдамида индикатор диаграмма чизилади. 61-расмда **ав** чизиғи сўриш жараёнига мос келади. Насосдаги босим атмосфера босимдан паст бўлади ва p_v га тенг бўлади. Поршеннинг **в** нуқтаси энг четки ўнг ҳолатига мос келади. Бу ҳолатда сўриш клапани ёпиқ бўлади. Поршен ўнгга қараб ҳаракати бошланганда, цилиндрдаги босим бирданига p_n қийматгача кўтарилади (**вс** чизик). $p_n - p_a$ босимлар фарқи остида ҳайдаш қувуридаги клапан очилади ва суюқлик узатила бошлайди (**са** чизиғи). **а** ва **с** нуқталардаги босимнинг тебраниши клапанларни очилиш пайтидаги инерцияси туфайли ҳосил бўлади.

Индикатор диаграммаси ёрдамида насоснинг индикатор қувватини аниқлаш мумкин. Унинг қиймати диаграмма юзасига тенг деб олинади. Индикатор қувватини била туриб, фойдали қувватни аниқлаш мумкин бўлади:

$$N_{\phi} = \eta_{\text{инд}} \cdot N_{\text{инд}}$$



61-расм. Индикатор диаграммаси.



62-расм. Насос ишидаги баъзи носозликлар.
а – клапаннинг ёпишиб қолиши; б - сўриш клапани ёпилишининг кечикиши.

бу ерда $\eta_{\text{инд}}$ – индикатор ф.и.к.

62-расм индикатор диаграмма ёрдамида насоснинг баъзи бир носозликларини аниқлаш мумкин. 61а-расмдаги диаграммада узатиш пайтида насос клапанининг кеч ёпилиши кузатилаётган бўлса, 61б-расмда эса, сўриш клапани ёпилишининг кечга қолиши тасвирланган.

Индикатор диаграммасидаги ўзгаришлар насос ичидаги бошқа носозликлар мавжудлигидан далолат беради. Цилиндрга хавони кириб қолиши диаграммадаги сўриш горизонтал чизиғидан четланишига, чизиқни тебраниши кўрсатади.

Поршенли насослар асосан, суюқликни кам миқдорда узатишда босими 5 дан 100 МПа гача бўлган юқори қовушок, тез алангаланувчи суюқликларни узатишда, ҳамда суюқликларни тақсимлаш учун ишлатилади.

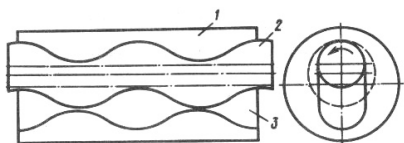
Поршенли насосларнинг камчилигини айтиб ўтадиган бўлсак, буларга, унумдорлиги камлиги, суюқликни нотекис узатиши, кривошип-шатунли механизми борлиги, суюқлик таркибида қаттиқ заррачалар бўлса, клапанлари тез ишдан чиқиши киради. Ундан ташқари, уни жойлаштириш учун мустахкам пойдеворлар талаб этилади.

9- Мавзу: Насосларнинг махсус турлари

Қуюлтирилган суюқликларни узатиш учун (олхўри, ўрик, олча ва меварезаворлар шарбати ва қиёми) қовушоклиги 1000 Па•с қийматга тенг бўлган суюқликлар учун ротацион хажмий насослар (мононасослар) ишлатилади.

Мононасоснинг асосий қисмлари статор 1 ва ротор 2 бўлади (63-расм).

Одатда, статор ичи икки йўлли, юзали, винтли, профилли, юқори резъбали цилиндрдан ташкил топган.



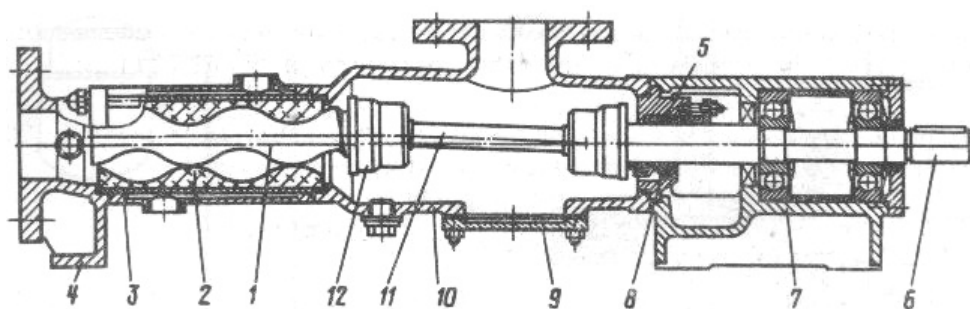
63-расм. Мононасос схемаси.
1-статор; 2-ротор; 3-ёпик бўшлиқ,

Статорга бир йўлли ротор ўрнатилган бўлиб, у ўзининг асосий ўқи ва статорнинг кўндаланг кесим ўқи атрофида ҳам айланади.

Статор ва ротор орасида ҳосил бўладиган ёпик бўшлиқлар 3, насос ишлаши пайтида суюқлик билан тўлиб туради ва ротор айланганда, аксиал кўзғалиб боради. Ротор айланганда бу бўшлиқ хажм 0 дан максимумгача

ўзгаради, бўшлиқ ортиб борганда суюқлик сўриб борилади.

Мононасоснинг конструкцияси 64-расмда келтирилган. Насос корпуси чўяндан ёки зангламайдиган пўлатдан тайёрланади. Статор эса, табиий каучук,



64-расм. Мононасос конструкцияси.

1- ротор; 2-статор; 3-иситиш ғилофи; 4-хайдаш штуцери; 5-сальник; 6-ўқ; 7-подшипник кобики; 8-зичловчи халқа; 9-қопқоқ; 10-қобик; 11-бирлаштирувчи ўқ; 12-шарнир.

синтетик, махсус резина, полиуретан, пластик массада, юмшоқ поливинил хлорид, тефлон, полиамиддан, ротор - эса зангламайдиган металл ва пластмассада тайёрланади.

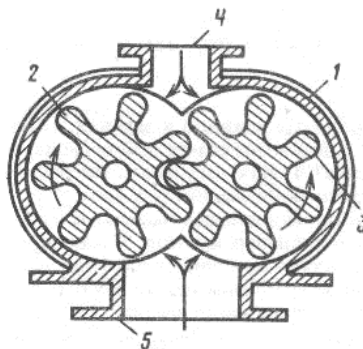
Бу насосларнинг босими $2,4 \text{ МПа}$ ва унумдорлиги $200 \text{ м}^3/\text{соат}$ гача бўлиши мумкин. Насосларда совитиш ёки иситиш учун ғилофлар бўлиши мумкин. Статорнинг ишчи температуралар оралиғи -30 дан $+300 \text{ }^\circ\text{C}$ гача.

Кичик босим билан катта миқдордаги суюқликларни узатишда ўқли насослардан фойдаланиш юқори самара беради (64-расм).

Бу турдаги насосларнинг ишчи ғилдираги эшакли винт шаклида тайёрланган бўлади. Суюқлик куракча ёрдамида илиб олинади ва корпусда айланиб, ўқнинг йўналиши бўйлаб узатилади. Насосдан кейин суюқликни айланма ҳаракатини тўғрилаб берувчи ускуна жойлашган бўлади.

Қуюқ, юқори қовушоқли суюқликларни узатишда шестерняли насослардан фойдаланилади (65-расм).

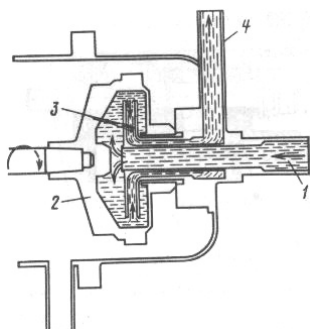
Насос чўян корпусдан ясалган бўлиб, унга 2 та бир-бири билан илашадиган шестернялар ўрнатилган бўлади. Шестернялардан бири электр юриткичга уланган



65-расм. Шестерняли насос схемаси

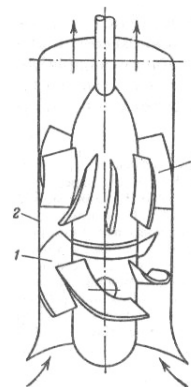
1-қобик; 2,3-шестернялар; 4-хайдаш штуцери; 5-сўриш штуцери.

бўлиб, етакловчи бўлса, иккинчиси - етакланувчи хисобланади.



66-рasm. Марказдан қочма турдаги суюқлик аралаштиргич.

1-суюқлик узатиш штуцери; 2-аралаштирувчи барабан; 3-грейфер; 4-аралашмани чиқариш штуцери.



67-рasm. Мононасос схемаси.

1-статор; 2-ротор; 3-ёпик бўшлик.

Шестернялар ўзаро илашишдан чиққанида сийракланиш хосил бўлади ва суюқлик насосга сўрилади. Шестерня тишлари суюқликни сўриб кетади ва у айланиш йўналиши томон ҳаракатланади. Шестерня тишлари қайтадан илашганда, суюқлик узатилади. Шестерняли насосларни тақсимлаб бергич сифатида қўллаш ҳам мумкин. Ундан ташқари, кичик унумдорликда, юқори босимни таъминлаб беради.

Суюқликларни аралаштириш учун марказдан қочма аралаштиргичлардан фойдаланилади (67-рasm).

Расмда кўрсатилганидек маълум нисбатда айланаётган барабанга киради ва интенсив аралашади. Суюқлик аралашмаси грейферга кириб, босим остида аралаштиргичдан штуцер орқали чиқиб кетади.

Марказдан қочма насос турлари. Иш ғилдирагининг чархига қараб марказдан қочма насослар 5 гуруҳга бўлинади.

Гуруҳ	D_1/D_2	n_s
Секин юрар	2,5	40. . .80
Ўртача тезликли	2	80. . .150
Тез юрар	1,4	150. . .300
Ярим ўкли	1,1	300. . .600
Ўқли	0,8	600. . .1200

Бир хил α_2 , β_2 , бурчаклар ва ε , η_c коэффициентларга эга насосларнинг асосий ҳарактеристиасини тез юрарлик критерийси n_s ифодалайди.

Тез юриш критерийси эталон насоснинг айланиш частотаси бўлиб, ф.и.к. ўзаро тенг бўлиб, 0,736 кВт қувват билан 1 м сув уст. тенг босим хосил қилади.

Ишчи ғилдираги D ва D_s диаметрли 2 та ўзаро мос бўлган, ҳамда айланишлар частотаси мос равишда n ва n_s бўлган насосларни текшириб кўрамиз. Уларнинг босимлари H ва H_s , унумдорлиги V ва V_s бўлса, қувватлар N ва

$N_S = 0,736$ кВт бўлади.

(2.89) тенгламадан напорни аниқлаш учун (2.93) тенгламага мурожаат этсак:

$$\frac{H}{H_S} = \frac{nD}{n_S D_S}$$

(2.91) тенгламадан унумдорликни аниқлаш учун (2.94) дан фойдаланамиз:

$$\frac{V}{V_S} = \frac{F \cdot C_{2r}}{F_S C_{2rS}} = \frac{n \cdot D^3}{n_S D_S^3}$$

Қувватни нисбатини аниқлаш учун (2.95)га га мурожаат қилсак:

$$\frac{N}{N_S} = \frac{\rho g V H}{\rho g V_S H_S} = \frac{n^3 D^5}{n_S^3 D_S^5}$$

Бу тенграмалардан $H_S = 1$ м ва $N_S = 0,736$ кВт ни ҳисобга олиб:

$$n_S = \frac{3,65 \cdot n \sqrt{V}}{H^{0,75}} \quad (141)$$

(141) тенгламадан кўринадик, аниқ айланишлар частотасида тез юрарлик коэффиценти унумдорлик яхшиланишига тўғри пропорционал, напорга тескари пропорционал. Шу сабаб, секин юрар насослар унумдорлиги паст бўлиб, босимни юқори қийматга кўтаришга хизмат қилса, тез юрарлар эса, кичик босим билан катта унумдорликни таъминлаб беради.

Марказдан қочма насосларнинг афзаллиги шундан иборатки, суюқлик бир текис узатилади, кичик ўлчамли, тез юрар, клапанлари йўқлиги, ростлаш осонлиги, пластмассадан тайёрлаш ва енгил пойдевор асосга ўрнатиш мумкин.

Камчиликларига эса қуйидагилар киради: босим, унумдорлик ва фойдали иш коэффиценти, насоснинг иш режимида боғлиқ, суюқлик қовушоқлиги ва напор ортиши билан фойдали иш коэффиценти камаяди; паст унумдорлида насосларнинг фойдали иш коэффиценти кичик бўлади.

Бу турдаги насослар катта унумдорлик ва кичик босим керак бўлганда ишлатилади.

Насосларни таққослаш

Хажмий насослар. Поршенли ва плунжерли насосларнинг асосий афзаллиги бу уларда фойдали иш коэффицентининг катталиги ва кам миқдордаги, юқори қовушоқ суюқликларни ҳар қандай босимда узатиб бериш хоссасига эгалигидир. Лекин уларда суюқлик узатилиши нотекислиги, клапанларни тез ишдан чиқиши, ва уларнинг катта ўлчамга эга бўлиши, поршенли ва плунжерли насосларнинг қўлланишини озгина чегаралайди. Плунжерли насосларни ишлатиш осонроқ бўлиб, бузилиши камроқ бўлади.

Хажмий насослар тузилиши оддий (шестерняли ва винтли) бўлиб, суюқликни бир меъёрда узатиб беради.

Марказдан қочма ва ўқли насослар. Бу насослар фойдали иш коэффиценти юқори ва суюқликни бир меъёрда узлуксиз узатиб беради. Нисбатан содда тузилганлиги уларни узоқ хизмат қилишини ва ишончлилигини таъминлайди. Клапанларнинг йўқлиги, ишқаланиш юзалари бўлмаслиги ифлосланган суюқликларни ҳам узатиш имконини беради. Электр юриткич билан бевосита уланиши насос қурилмасининг ихчамлигини таъминлайди ва унинг фойдали иш

коэффициентини оширади. Куракчали насосларни ушбу афзалликлари, уларнинг кимё саноатида кенг қўламда қўлланишига олиб келди.

Бу насосларнинг камчилиги: унумдорлиги ва босими камлигидир.

Оқимчали насослар. Ушбу насосларнинг афзаллиги шундан иборатки, уларнинг тузилиши анча содда, ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади. Сув оқимчали насослар техникада қудуқлардан сувларни кўтариш учун хизмат қилади. Буғ - оқимчали насослар эса, буғ қозонларга сув узатиш учун ёки вакуум ҳосил қилишда хизмат қилади. Оқимчали насосларнинг камчилиги: фойдали иш коэффициентини жуда кичик ва юқори босим ҳосил қила олмайди.

Ҳаволи (газли) кўтаргичлар. Бу насослар тузилиши содда ва уларга кўрсатиладиган хизмат ҳам оддийлигидир. Мисол учун, чуқур қудуқлардан сув чиқариш, агрессив суюқликларни узатишда қўлланилади. Ҳаволи кўтаргичлар ф.и.к. паст (25...35%). Лекин, насос таркибида ҳаракатчан қисм ва деталлар йўқлиги, унинг энг асосий афзаллигидир.

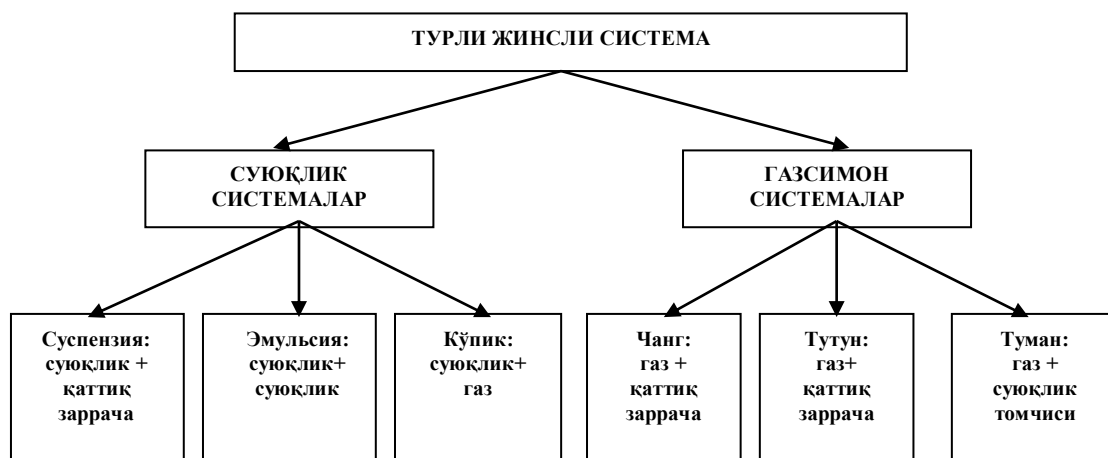
Гидромеханик жараёнлар

Гидромеханик жараёнларга қуйидагилар киради: суюқ ва газсимон турли жинсли системаларни гравитацион (чўктириш), марказдан қочма (центрифугалаш) ёки электр майдони кучлари таъсирида қаттиқ заррачалардан тозалаш; босимлар фарқи остида суюқлик ва газларни ғовак тўсиқлар орқали ўтказиб филтрлаш; суюқлик муҳитларида аралаштириш; мавҳум қайнаш ва бошқалар.

10- Мавзу: Турли жинсли системалар классификацияси

Камида иккита ҳар хил фазалардан (суюқлик - қаттиқ жисм, суюқлик - газ ва х.) таркиб топган аралашмалар **турли жинсли системалар** деб номланади. Заррачалари ўта майин янчилган ҳолатдаги фаза **дисперс** ёки **ички фаза** деб аталади. Дисперс фаза заррачаларини ўраб олган муҳит эса - **дисперсион** ёки **ташқи фаза** деб аталади.

Фазаларнинг физик ҳолатига қараб турли жинсли системалар қуйидаги



гуруҳларга бўлинади: суспензия, эмульсия, кўпик, чанг, тутун ва туманлар (68-расм).

10-Мавзу: Турли жинсли системалар классификацияси.

Суюқлик ва каттиқ заррачалардан ташкил топган турли жинсли система **суспензия** деб аталади. Каттиқ заррачалар ўлчамига қараб суспензиялар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: дағал (>100 мкм); майин ($0,5...100$ мкм); лойқа ($0,1...0,5$ мкм) суспензиялар ва коллоид эритмалар ($\leq 0,1$ мкм).

Бири иккинчисида эримайдиган, дисперс ва дисперсион фазалардан ташкил топган аралашма системаси **эмульсия** деб номланади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг ораликда ўзгариши мумкин. Одатда, эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралади. Лекин, дисперс фаза томчилари $0,4...0,5$ мкм дан кичик бўлса ёки стабилизаторлар қўшилган ҳолларда эмульсиялар турғун бўлади ва узок муддат давомида қатламларга ажралмайди. Дисперс фаза концентрацияси ортиши билан дисперс фаза дисперсион фазага ўтиши ва тескариси бўлиши мумкин. Бундай ўзаро алмашилиш ходисаси фазалар **инверсияси** дейилади.

Суюқлик ва унда тақсимланган газ пуфакчаларидан ташкил топган системалар **кўпиклар** деб аталади. Кўпиклар ўз хоссалари бўйича эмульсияларга яқин.

Газ ва унда тақсимланган $0,3...5$ мкм ўлчамли каттиқ заррачалардан ташкил топган системалар **тутунлар** деб номланади. Тутунлар буғ (ёки газ) ларнинг суюқ ёки каттиқ ҳолатга конденсацияланиш жараёни орқали ўтишда ҳосил бўлади. Ундан ташқари, каттиқ ёқилғилар ёниши натижасида ҳам пайдо бўлади.

Газ ва унда тақсимланган $3...70$ мкм ўлчамли каттиқ заррачалардан ташкил топган системалар **чанглар** деб аталади.

Кўпинча чанглар каттиқ материални майдалаш, аралаштириш ва маълум масофага узатиш пайтида ҳосил бўлади.

Дисперсион газ ва ўлчами $0,3...5$ мкм бўлган дисперс суюқлик фазалардан ташкил топган системаларга **туманлар** дейилади. Туманлар сув буғини совитиш жараёнида, буғнинг конденсацияланиши натижасида ҳосил бўлади.

Тутун, чанг ва туманлар - **аэрозоллар** деб юритилади.

Ажратиш усуллари

Кимё ва озиқ-овқат саноатларида турли жинсли системаларни ташкил этувчи фазаларга ажратишга тўғри келади. Масалан, вино ишлаб чиқаришда уни тиндириш, яъни муаллақ ҳолатдаги заррачаларни, суюқ фазадан ажратиш. Ажратиш усуллари танлашда дисперс фаза ўлчамига, фазалар зичликлари фарқи ва дисперсион фаза қовушоқлигига аҳамият бериш зарур. Турли жинсли системаларни ажратиш учун қуйидаги усуллар қўлланилади: а) чўктириш; б) филтрлаш; в) центрифугалаш; г) суюқлик ёрдамида ажратиш.

Оғирлик кучи, инерция (жумладан, марказдан қочма) ёки электростатик кучлар ёрдамида турли жинсли системалар таркибидаги каттиқ ёки суюқлик заррачаларини ажратиш жараёни **чўктириш** деб номланади. Агар, жараён фақат оғирлик кучи таъсирида олиб борилса **тиндириш** деб юритилади. Тиндириш одатда турли жинсли системаларни дастлабки ажратиш учун ишлатилади.

Фильтрлаш - турли жинсли системаларни ғоваксимон тўсиқ - фильтр ёрдамида ажратиш жараёнидир. Бунда, ғоваксимон тўсиқ суюқлик ёки газни ўтказиб юборади, аммо мухитдаги қаттиқ заррачаларни ушлаб қолади. Суспензия, эмульсия ва чангларни ажратиш учун чўктириш жараёнига қараганда фильтрлаш анча самарали.

Центрифугалаш - суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч таъсирида ажратиш жараёнидир. Бу жараёнда яхлит ёки ғоваксимон тўсиқлар ҳам ишлатилади. Центрифугалаш жараёнида чўкма ва суюқ фаза (фугат) ҳосил бўлади.

Суюқлик ёрдамида ажратиш усули деб - газ таркибидаги қаттиқ заррачаларни бирорта суюқлик иштирокида ушлаб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён оғирлик ёки инерция кучлари таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Баъзан, бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланиш мумкин.

Ажратиш жараёнининг моддий баланси

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

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

x_{ap} , $x_{чук}$, 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

$$G_{ap} = G_{mc} + G_{чук} \quad (142)$$

дисперс фаза (**b** модда) бўйича

$$G_{ap} x_{ap} = G_{mc} x_{mc} + G_{чук} x_{чук} \quad (143)$$

(142) ва (143) тенгламаларни биргаликда ечсак, тозаланган суюқлик миқдорини топамиз:

$$G_{mc} = G_{ap} \frac{x_{чук} - x_{ap}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (144)$$

ва чўкма миқдорини:

$$G_{чук} = G_{ap} \frac{x_{ap} - x_{mc}}{x_{чук} - x_{mc}} \quad (145)$$

Ажратиш жараёнининг самарадорлиги ажратиш жадаллиги билан характерланади:

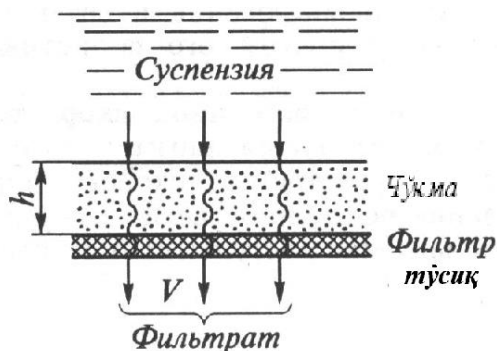
$$\varepsilon_{ажр} = \frac{G_{ap} \cdot x_{ap} - G_{mc} \cdot x_{mc}}{G_{ap} \cdot x_{ap}} \quad (146)$$

(146) ва (147) тенгламалар ёрдамида аралаштириш жараёнини ҳам ифодаласа бўлади. Ундан ташқари, (147) тенгламадан аралашма таркибидаги дисперс фаза концентрациясини ҳам топиш мумкин:

$$x_{ap} = \frac{G_{mc} x_{mc} + G_{чж} \cdot x_{чж}}{G_{ap}} \quad (147)$$

11- Мавзу: Фильтрлаш Умумий тушунчалар

Турли жинсли системаларни ғовак фильтр тўсиқлар ёрдамида фазаларга ажратиш жараёнига **фильтрлаш** дейилади. Фильтр тўсиқлар аралашманинг қаттиқ (дисперс) фазасини ушлаб қолади, суюқ (дисперсион) фазасини ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Фильтр тўсиқлар ёки бундан буён фильтрлар сифатида ғовакли материаллар қўлланилади (масалан, тўр пардалар, картон, газламалар, сочилувчан материаллар, шағал, қум, ғовак полимер материаллар, керамика, металлокерамика ва бошқалар).



Фильтр тўсиқ ва чўкма қатлами орқали суюқликнинг ўтиш схемаси.

Фильтрлаш жараёни босимлар фарқи ёки марказдан қочма кучлар майдони таъсирида амалга оширилади.

Фильтрлаш интенсивлиги суспензия сифати, яъни дисперс фаза чўкмаси қаршилигининг миқдориغا, картон, шилимшиқ ва коллоид моддалар бор-йўқлигига боғлиқдир.

Турли жинсли системаларни ажратиш пайтида фильтр конструкцияси ёки фильтрловчи центрифуга, фильтр тўсиқ ва фильтрлаш режимларини танлаш зарурати туғилади.

Кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатларда чўкма ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш кенг тарқалган.

Масалан, шакарпазликда фильтрлаш 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 фильтрлаш жараёнидан кенг миқёсда фойдаланилади.

Кимё, нон пишириш, тегирмон ва спирт саноатларида газларни тозалаш учун фильтрлаш жараёни ишлатилади.

Фильтрлаш жараёнида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чўкмалар ҳосил бўлади. Сиқилувчи чўкма заррачалари босим ортиши билан қатлам деформацияга учрайди ва унинг ўлчами камаёди. Сиқилмайдиган чўкмада босим кўпайиши билан қатлам шакли ва ўлчами узгармайди.

Амалда фильтрлашдан кейин қуйидаги қўшимча жараёнлар қўлланилади:

- а) чўкмани ювиш;
- б) чўкмани ҳаво ёки инерт газлар оқими билан тозалаш;
- в) чўкмани қуриштиш;

Фильтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинган фильтратнинг тозаллиги фильтр тўсиқлар хусусиятларига боғлиқ. Фильтр тўсиқлар ғовак, тешиклари катта ва гидравлик қаршилиги кичик бўлиши керак. Фильтр тўсиқлар тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Фильтр тўсиқлар тепа ва остки қисмидаги босимларнинг фарқи филтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи деб ҳисобланади.

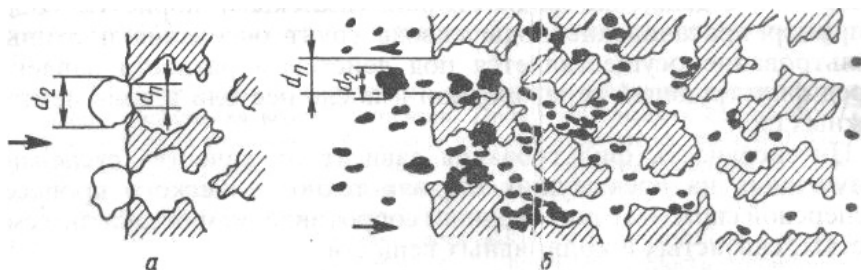
Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб филтрлаш жараёни икки гуруҳга бўлинади: а) босимлар фарқи таъсирида ажратиш (филтрлаш); б) марказдан қочма куч таъсирида ажратиш (центрифугалаш).

Фильтрлаш турлари

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 ходисалар биргаликда келган (оралиқ) ҳолатларда филтрлаш жараёни содир бўлиши мумкин.

Фильтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиб филтрлаш жараёни қаттиқ жисм заррачаларининг диаметри d_2 , ковак диаметри d дан катта бўлганда рўй беради (81а-расм).

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.



81-расм. Фильтрлаш схемаси.

1 - чўкма ҳосил қилиб филтрлаш; 2 - тўсиқ ковакларини тўлдириб филтрлаш.

Ковакларни тўлдириш усулида филтрлаш (81б-расм) фильтр тўсиқ ковакларига қаттиқ заррачалар кириб тўлдирганда рўй беради. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, филтрлаш жараёнининг бошланғич давридаёқ, қаттиқ заррачалар тўсиқ ковакларини тўлдириб бошлайди. Бу ходиса, албатта фильтр қурилмалар иш унумдорлигини пасайтиради. Жараёни керакли даражада ушлаб туриш учун фильтр тўсиқни биринчи ҳолатини тиклаш, яъни филтрлашга яроқли қилиш керак. Бунинг учун тўсиқлар суюқлик оқими билан ювилади ёки тўсиқ металлдан ясалган бўлса, қиздириб куйдирилади.

Оралиқ филтрлаш усули бир вақтнинг ўзида ҳам фильтр тўсиқ юзасида чўкма ҳосил қилиш, ҳам ковакларни тўлдириб, филтрлаш усуллари рўй берганда амалга ошади.

Ушбу усулда кичик концентрацияли суспензияларни филтрлаш жараёни тезлигини ошириш учун қўшимча моддалар иштирокида олиб борилади.

Жараёндан аввал фильтр тўсиқ юзаси қўшимча модда билан қопланади. Қўшимча моддалардан қилинган қоплама тўсиқ ковакларини тўлиб қолишдан сақлайди. Қўшимча моддалар сифатида ўта майин кўмир, перлит, асбест, кизельгур, фиброфло, асканит ва бошқа материаллар қўлланилиши мумкин.

Хулоса қилиб айтганда, фильтрлаш жараёни интенсивлиги ва фильтр қурилманинг иш унумдорлиги фильтрлаш тезлигига боғлиқдир.

Фильтрлаш жараёнининг назарий асослари

Фильтр тўсиқнинг пастки ва тепа қисмларидаги босимлар фарқиға 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 фарқиға тўғри ва чўкма қатлами қаршилигига тесқари пропорционалдир.

Фильтрлаш жараёни эса қуйидаги кинетик тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu(R_q + R_{qm})} \quad (182)$$

бу ерда V - фильтрат ҳажми, m^3 ; F - фильтрлаш юзаси, m^2 ; τ - фильтрлаш вақти, s ; Δp - босимлар фарқи, N/m^2 ; μ - динамик қовушоқлик, $Pa \cdot s$; R_q , R_{qm} – чўкма ва фильтр тўсиқлар қаршилиги, m^{-1} .

1 m^3 фильтрат олинганда x_q (m^3) миқдорда чўкма ҳосил бўлади деб қабул қиламиз. Унда,

$$x_q \cdot V = h_q F \quad (183)$$

бу ерда h_q – чўкма қатлами баландлиги, m .

$$\text{Бу формуладан: } h_q = \frac{x_q \cdot V}{F}$$

Чўкма қатламининг қаршилиги унинг баландлигига пропорционал деб фараз қиламиз.

$$R_0 = r_0 h_0 = \frac{r_0 x_0 V}{F} \quad (184)$$

бу ерда r_0 – чўкманинг солиштирма қаршилиги, m^{-2} .

Агар (184) ни (185) га қўйсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \cdot \left(\frac{r_q x_q V}{F} + R_{qm} \right)} \quad (185)$$

(186) тенглик фильтрлаш жараёнининг асосий тенгламаси деб аталади.

Фильтр тўсиқ қаршилиги ҳисобга олинмаса, қуйидаги тенглама ҳолатига келамиз

$$r_q = \frac{\Delta p}{\mu h_q \cdot w} \quad (186)$$

бу ерда w - фильтрлаш тезлиги. Фильтрлаш жараёнининг бошланғич фурсати учун,

яъни $V = 0$ да, $R_{\phi m} = \Delta p / (\mu w)$.

$\Delta p = \text{const}$ бўлган ҳолат учун (186) тенгламани интегралласак ($0 - V$ ва $0 - \tau$ ораликда), ушбу тенглама келиб чиқади:

$$V^2 + 2 \frac{R_{\phi m} \cdot F}{r_0 x_0} \cdot V = 2 \frac{\Delta p F^2}{\mu r_0 x_0} \cdot \tau \quad (187)$$

Олинган ушбу тенглама сиқиладиган ва сиқилмайдиган чўкмалар учун қўлласа бўлади ва у филтрат хажми ортиши билан филтрлаш тезлиги камайишини кўрсатади.

(187) тенгламани филтрлаш вақти τ га нисбатан ечсак, ушбу ифодага эришилади:

$$\tau = \frac{\mu x_0 r_0}{2 \Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot V}{\Delta p \cdot F} \quad (188)$$

ёки (188) ни ҳисобга олсак

$$\tau = \frac{\mu r_0}{2 \Delta p x_0} h_0^2 + \frac{R_{\phi m}}{\Delta p x_0} h_0 \quad (189)$$

Шундай қилиб, филтрлаш вақти олинган филтрат хажми квадратига тўғри пропорционалдир.

Охириги тенгламани филтрнинг солиштирма иш унумдорлиги ($V_f = V/F$) га нисбатан ечсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$V_f = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\mu x_0 r_0} \tau + \left(\frac{R_{\phi m}}{\mu x_0 r_0} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{\mu x_0 r_0} \quad (190)$$

Ўзгармас тезлик $w = \text{const}$ ҳолат учун (3.43) дан ушбу тенгламани оламиз:

$$V^2 \mu x_0 r_0 + R_{\phi m} V F \mu = \Delta F^2 \tau \quad (200)$$

ёки

$$V^2 + \frac{R_{\phi m} \cdot F}{r_0 x_0} V = \frac{\Delta p F^2}{\mu r_0 x_0} \tau$$

бу тенгламадан:

$$\Delta p = \mu x_0 r_0 \left(\frac{V}{F} \right)^2 \frac{1}{\tau} + \mu R_{\phi m} \left(\frac{V}{F} \right) \frac{1}{\tau} \quad (201)$$

ёки

$$\Delta p = \mu x_0 r_0 w^2 + \mu R_{\phi m} w$$

Шундай қилиб, филтрлаш вақти ортиши билан босимлар фарқи кўпаяди:

$$\tau = \frac{\mu x_0 r_0}{\Delta p} \left(\frac{V}{F} \right)^2 + \frac{R_{\phi m}}{\Delta p} \frac{V}{F} \quad (202)$$

яъни олинган филтрат хажми квадратига тўғри пропорционал.

Филтрнинг солиштирма иш унумдорлиги (m^3/m^2):

$$V_f = \sqrt{\frac{\Delta p}{\mu x_0 r_0} \tau + \left(\frac{R_{\phi m}}{2 \mu x_0 r_0} \right)^2} - \frac{R_{\phi m}}{2 \mu x_0 r_0} \quad (203)$$

Амалда чўкма хажмининг филтрат хажмига нисбати x_0 , чўкма қатламининг солиштирма хажмий қаршилиги r_0 ва филтр тўсиқ қаршиликлари тажриба йўли билан аниқланади.

Агар, $F = 1 \text{ м}^2$ бўлган хол учун (203) тенгламани ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$V^2 + 2CFV = 2KF^2\tau \quad (204)$$

бу ерда C - фильтр тўсиқ гидравлик қаршилигини характерловчи филтрлаш константаси, $\text{м}^3/\text{м}^2$; K - филтрлаш режими ва суюқликдаги чўкманинг физик-кимевий хоссаларини хисобга олувчи филтрлаш константаси, $\text{м}^2/\text{с}$.

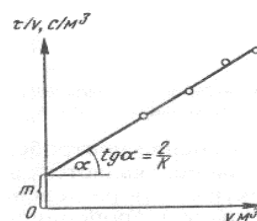
$$C = \frac{R_{\phi m}}{r_q \cdot x_q} \quad (205)$$

$$K = \frac{2\Delta p}{\mu r_q x_q} \quad (206)$$

Агар, (3.53) тенгламага ўзгартириш киритсак, ушбу кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\tau}{V} = \frac{2V}{K} + \frac{2C}{K} \quad (207)$$

Кўриниб турибдики, (207) тенглик абсциссага α қия бурчак остида жойлашган тўғри чизик тенгламаси. Ушбу бурчак тангенс $\text{tg } \alpha = 2/K$ тенг ва у ордината ўқида $m = 2C/K$ кесмани ажратади (82-расм).



82-расм. Филтрлаш константасини аниқлашга доир.

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 (206) ва (207) тенгламалардан r_q ва $R_{\phi m}$ лар топилади. Чўкма ва филтрат хажмларини ўлчаш натижасида эса - x_q қиймати топилади.

Филтрлар

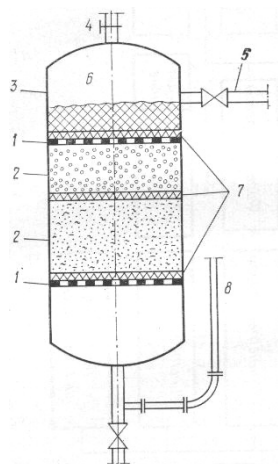
Ишлаш принципига қараб, филтрлар қуйидагиларга бўлинади: ўзгармас босимлар фарқи ёки ўзгармас филтрлаш тезлигида ишлайдиган филтрлар; филтр тўсиқда ҳосил қиладиган босимлар фарқига қараб, вакуум ёки ортиқча босим остида ишлайдиган қурилмалар; жараёни ташкил этишга қараб, узлукли ёки узлуксиз ишлайдиган 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 филтрларга бўлинади.

Технологик мақсадларга қараб, қурилмалар икки турга бўлинади: а) суюқликларни тозалаш филтрлари; б) газларни тозалаш филтрлари.

Филтр тўсиқларнинг турига қараб, донасимон материаллар, турли газламалар ва каттиқ материаллар (керамика, тўр) ёрдамида турли жинсли системаларни тозалайдиган **филтрларга** бўлинади.

Қумли филтр. Бу қурилма донасимон материалли филтрлар гуруҳига оид (83-расм).



83-рasm. Қумли фильтр.

- 1 - турли дисклар; 2 - қум; 3 -қобик;
4 - ҳаво жўмраги; 5 – суспензия
кириш трубаси; 6 - пахта; 7 –
фильтрловчи тўқима; 8 - фильтратни
чиқариш трубаси.

Бу турдаги фильтрлар суспензия таркибида қаттиқ фаза миқдори кам бўлган ҳолларда, яъни озиқ-овқат саноатида сувни фильтрлаш ва ликер-ароқ корхоналарида кенг қўламда ишлатилади.

Фильтрнинг цилиндрик қобиғида иккита тўрли диск бўлиб, улар қурилмани 3 қисмга ажратади: юқори - суспензия оқиб кирувчи, ўрта - фильтрловчи ва қуйи - йиғувчи. Иккала диск орасида фильтрловчи қум қатлами жойлашган бўлиб, у йирик ва майда фракциялардан иборат бўлади. Фракциялар фильтр тўқима билан ажратилган. Юқори ва қуйи дисклар ҳам фильтр тўқима билан қопланган бўлади. Фильтрланувчи суюқлик 0,02...0,03 МПа босимда қурилма тепасидан юборилади, фильтрат эса пастки қисмдан чиқарилади.

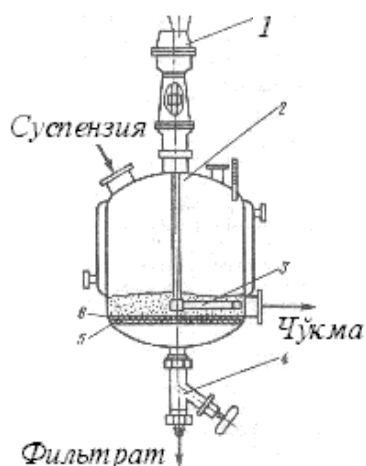
Фильтрлаш тезлиги 250...750 кг/(м²· соат). Ушбу фильтр тузилиши содда, фильтрлаш сифати эса – юқори.

Лекин, ҳажм бирлигида фильтрловчи юза кам ва жараён тезлиги паст бўлгани учун, фильтрнинг иш унумдорлиги жуда кичик. Ундан ташқари, фильтр - қумни алмаштириш қийин ва кўп вақт талаб қилади.

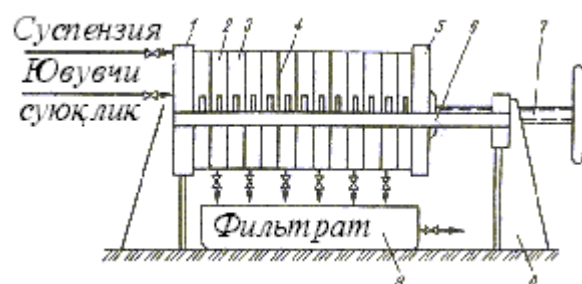
Нутч - фильтр вакуум ёки ортиқча босим остида ишлаши мумкин (84-рasm). Чўкмани чиқариб ташлаш учун фильтрга бир парракли аралаштиргич ўрнатилган. Суспензия ва сиқилган ҳаво алоҳида штуцерлар орқали узатилади. Олинган фильтрат эса, тўкиш жумраги 4 орқали чиқарилади. Ундан ташқари, фильтрга сақловчи жўмак ҳам ўрнатилган. Фильтрнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат: суспензия билан тўлдириш; босим остида фильтрлаш; фильтр тўсиқдан чўкмани тушириш; фильтр тўсиқни қайта тиклаш. Бундай фильтрларда чўкмани ювиш жараёнини ҳам бир вақтда ўтказса бўлади.

Суспензияларни фильтрлаш пайтида фильтр тўсиқ сифатида картон, бельтинг ва синтетик толаларни қўллаш мумкин. Синтетик толаларнинг афзаллиги шундаки, улар юқори механик мустаҳкамлик, термик ва кимёвий чидамлилиikka эга. Синтетик толалардан, зичлиги аста - секин ўзгарадиган, фильтр тўсиқлар тайёрлаш мумкин.

Бундай фильтр қаттиқ фаза миқдори кам бўлган суспензияларни фильтрлашда жуда қўл келади, чунки заррачалар унинг бутун баландлиги бўйлаб чўқади. Фильтрнинг ташқи қатламида йирик, ички қатламларида эса майда заррачалар ушланиб қолади. Бундай селектив фильтрлаш жараён тезлиги юқори бўлиши, ковакчалар юзасини тўлиб қолиш олдини олади ва фильтрнинг хизмат муддатини узайтиради.



85-расм. Аралаштиргичли нутч - фильтр.
1-узатма; 2-фильтр қобиқи; 3-аралаштиргич; 4-тўқиш жўмрағи; 5-фильтр тўсик; 6-фильтрловчи тўқима.



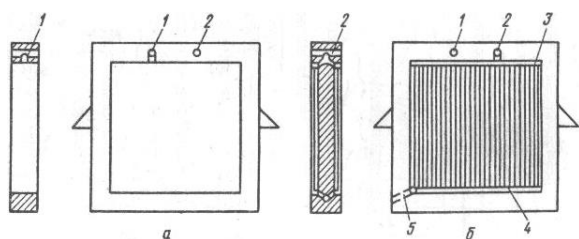
86-расм. Ромли фильтр-пресс.
1 - таянч плита, 2 - ром; 3 -плита; 4 - фильтр тўсик;
5 - ҳаракатчан плита; 6 - горизонтал йўналтирувчи;
7 - винт; 8 - станина; 9 - тарнов.

Ромли фильтр - пресс.

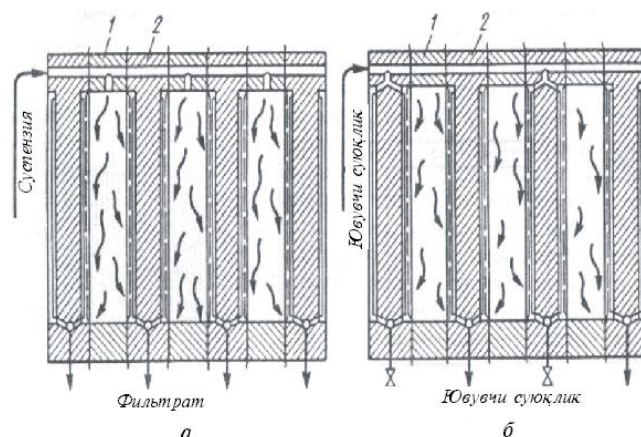
Бундай филтрлар суспензиялар (масалан: вино, пиво, сўт махсулотлар) ни тозалаш учун қўлланилади (86-расм).

Филтрловчи блок орасида филтр тўқима ёки картон жойлашган алмашувчи ром ва плиталардан ташкил топган. Ром ва плиталар йўналтирувчи 6 да сиқувчи винт 7 ёрдамида қисиб қўйилади. Одатда филтр металл станина 8 да ўрнатилади.

Хар бир ром ва плитада суспензияни киритиш ва ювиш суюқлигини чиқариш



87-расм. Филтр - пресс ром (а) ва плитаси (б).
1, 2 - суспензия ва ювиш суюқлиги кириш каналлари; 3 - дренаж канали; 4 - йиқиш канали; 5 - айланма канал.



88-расм. Ромли филтр - пресс ишлаш схема.
а - филтрлаш; б - чўкма ювиш; 1 - ром; 2-плита.

каналлари бор (88-расм).

Плиталарнинг иккала томонида йиғувчи каналлар 4 бўлиб, юқори қисм дренаж ва пастки қисми эса, айланма каналлар билан уланган.

Суспензия босим остида канал орқали ромнинг ичкарасига филтр материалдан ўтади (88а-расм), кейин эса юзасидаги каналчалар орқали пастга тушади.

Филтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Ромнинг иккала томони чўкма билан тўлганда,

фильтрлаш жараёни тўхтатилади ва тескари йўналишда юқори босимли суюқлик юборилиб, чўкма ювилади ва айланма каналлар орқали чиқарилади. Шундан кейин ювиш учун сув юборилади ва жараён тугагач плита чапга сурилиб, чўкма тўкилади. (88б-расм)

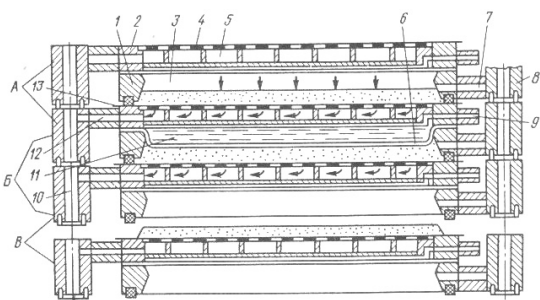
Фильтр - пресснинг иш цикли ушбу жараёнлардан иборат: ишга тайёрлаш; фильтрлаш; ювиш; чўкмани тўкиш. Даврий ишлайдиган фильтр қурилмаларда ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 30% га яқин вақти сарфланади ва чўкмани тўкиш кўп меҳнат талаб қилади. Бу турдаги фильтрларда фильтр тўқималар сарфи катта ва уларни алмаштириш қийин. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда ушбу камчиликлар бартараф этилган, чунки бу фильтрларда фильтрлаш, чўкмани қуриштириш, ювиш, ажратиш жараёнлари бир вақтда содир бўлади.

Фильтр – пресс ФПАК . Бундай фильтрда чўкмани тўкиш механизациялашган. Ушбу қурилма камерали, автоматлаштирилган фильтр бўлиб, температураси 80°С, концентрацияси 10...500 кг/м³ ли майин дисперс суспензияларни ажратиш учун қўлланилади. Бу турдаги фильтр даврий ишлайдиган бўлади. Кўпинча бу фильтр - прессларда бир - бирига зич жойлашган бир қатор тўртбурчак шаклдаги фильтрлардан иборат (89-расм).

Тўртбурчак фильтрларнинг бундай жойлашуви солиштирма фильтрлаш юзасининг кўпайишига олиб келади.

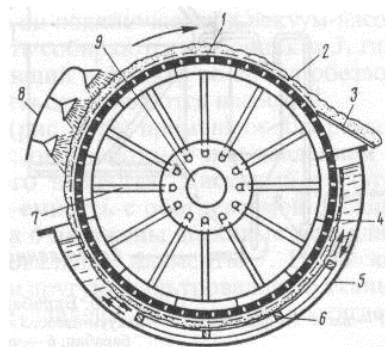
Агар фильтр **А** ҳолатда бўлса, коллектор 8 дан камерага ажратиш учун суспензия, ювиш учун суюқлик ва чўкмани қисман қуриштириш учун сиқилган хаволар кетма - кет келади. Сўнг фильтрат, ювиш суюқлиги ва хаво каналлар 12 орқали коллектор 10 га чиқарилади.

Фильтрнинг **Б** ҳолатида каналлар 9 орқали бўшлиқ 11 га босим остида сув узатилади. Натижада эгилувчан эластик диафрагма **Г** ёрдамида чўкма сиқилади.



**89-расм. Горизонтал камерали
фильтр - пресс (ФПАК).**

1-пастки плита; 2-тепа плита; 3-суспензия ва чўкма учун бўшлиқ; 4-тешикли диск; 5-фильтрат учун бўшлиқ; 6-эгилувчан диафрагма; 7, 9, 12-каналлар; 8-суспензия учун коллектор; 10-фильтратни чиқариш коллектори; 11-сув учун бўшлиқ; 13-фильтр тўкима.



90-расм. Барабанли вакуум – фильтр.
1-тешикли барабан; 2-фильтр тўкима; 3-чўкмани кесиб турувчи пичок; 4-секция; 5-тоғара; 6-аралаштиргич; 7-труба; 8-суюқлик пуркагич; 9-бош таксимлагич.

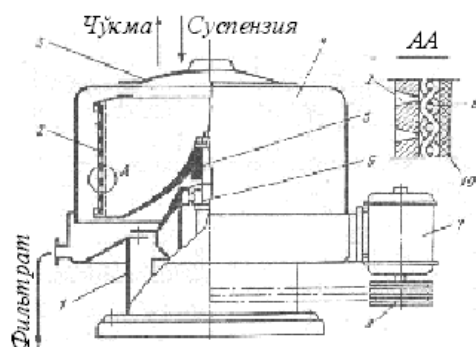
Ундан кейин, **В** ҳолатда плиталар сурилади ва ҳосил бўлган тирқишлардан чўкма тўкилади.

Барабанли вакуум - фильтр. Бу турдаги фильтрлар концентрацияси 50 ...

500 кг/м³ бўлган суспензияларни узлуксиз равишда ажратиш учун ишлатилади (90-расм). Қаттиқ заррачалар кристалл, толали аморф ва коллоид тузилишга эга бўлиши мумкин. Фильтр иш унумдорлиги қаттиқ заррачалар тузилишига боғлиқ ва юқорида келтирилган кетма - кетликда пасайиб боради.

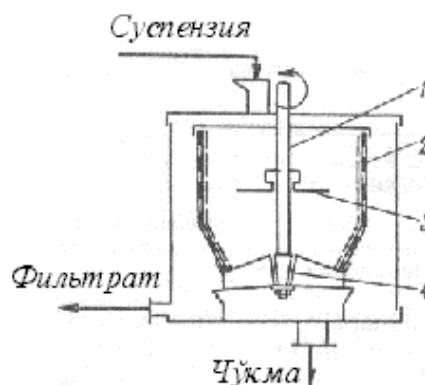
Фильтрнинг асосий қисми горизонтал барабан бўлиб, у электр юриткич ёрдамида аста - секин айлантиради. Одатда унинг 0,3...0,4 қисми суспензияли тоғорага тушиб туради. Тоғора ичида силкиниб турувчи аралаштиргич суспензия таркибини бир хил бўлишини таъминлайди, яъни унинг таркибидаги заррачаларни чўкмага тушишига тўсқинлик қилади. Барабан иккита цилиндрдан тузилган бўлади. Ташқи цилиндр элаксимон бўлиб, унинг устига сим тўр тортилган.

Сим тўрнинг усти эса, фильтр тўқима билан қопланган. Барабаннинг фильтрловчи тўсиқларидан фильтрат вакуум остида сўриб олинади. Фильтрнинг устида суспензиядаги қаттиқ заррачалар чўкма қатламини ҳосил қилади. Бу чўкма пичоқ ёрдамида барабаннинг устки қисмидан узлуксиз равишда кесиб олинади. Барабаннинг ички қисми тўсиқлар ёрдамида алоҳида секторларга бўлинган. Каналлар эса фильтрлаш жараёнининг ҳамма цикллари бевосита фильтр ишлашини бошқарувчи бош тақсимлагич билан бириктирилган. Бош тақсимлагичда иккита диск бўлиб, бири айланма ҳаракат қилса, иккинчиси - қўзғалмасдир. Қўзғалмас дискдаги тешиклар трубалар орқали вакуум – насос,



93-расм. Даврий ишлайдиган
фильтрловчи центрифуга.

1 - станина; 2 - тешикли барабан; 3 - қопқоқ; 4 - қобик; 5 - гупчак; 6 - подшипник; 7 - электр юриткич; 8 - камар узатмали шкив; 9 - дренаж тури; 10 - фильтр тўқима.



94-расм. Чўкмани гравитацион куч
таъсирида тўкадиган центрифуга.

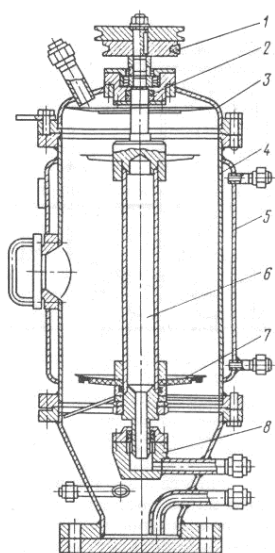
1 - ўк; 2 - барабан; 3 - тақсимловчи диск; 4 - таянч втулка.

ҳамда фильтратни ажратиб олувчи ва юувчи суюқлик билан чўкмани ажратиш ва фильтр тўқимани тозалаш учун сиқилган ҳаво берувчи компрессор билан уланган бўлади.

Айланувчи дискнинг ҳар бир тешиги бирин-кетин қўзғалмас дискнинг тешиклари билан уланади. Шунинг учун барабан бир марта айланганида, фильтрлаш жараёнининг ҳамма босқичлари бажарилади. Биринчи босқичда барабан секциялари вакуум – насос билан уланади ва фильтрат идишга тушади. Кейинги босқичда барабан секциялари юувчи суюқлик билан уланади ва чўкма ювилади. Охириги босқичда барабан секциялари сиқилган ҳаво трубалари билан уланиб, чўкма қуритилади ва фильтрлаш юзаси тозаланади.

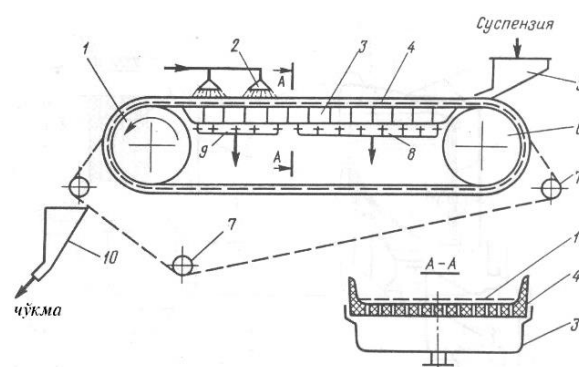
Бу турдаги фильтрларнинг ишчи юзаси $5...150 \text{ м}^3$ бўлади. Камчиликлари: фильтрлаш юзаси катта бўлгани учун кўп жой эгаллайди; фильтрнинг нархи қиммат бўлади.

Дискли фильтр. Бу фильтрлар майин дисперс суспензияларни ажратиш учун мўлжалланган бўлиб, қўшимча моддалар ўтиринди қатлами билан босим остида ишлайди. Исиладиган ғилофли вертикал идиш кўринишига эга бўлган дискли фильтрларда ишчи босим - $0,5 \text{ МПа}$, ғилоф ичидаги босим эса - $0,3 \text{ МПа}$. Фильтр ичида ғовак ўқ 6 бўлиб унга металлдан ясалган тешикли диск фильтр



91-расм. Дискли фильтр.

1 - шкив; 2 - сальники кистирма; 3 - кофоклар; 4 - фильтр кобик; 5 - ғилоф; 6 - ғовак ўқ; 7 - фильтрловчи элемент; 8 - подпятник.



92-расм. Лентали вакуум - фильтр.

1 - узатувчи барабан; 2 - пуркагич; 3 - вакуум-камера; 4 - резина лента; 5 - нов; 6 - тарангловчи барабан; 7 - тарангловчи ғилдиракчалар; 8 - фильтрат чиқариш коллектори; 9 - ювувчи сувни чиқариш коллектори; 10 - чўкма йигич; 11 - фильтр тўқима.

элемент 7 лар ўрнатилган (92-расм). Дисклар, ўз навбатида, полипропилен ёки бошқа фильтр тўқима билан қопланиб, халқасимон қискичлар ёрдамида маҳкамланади.

Дискли фильтрларда қисман қурилган чўкмани марказдан қочма куч ёрдамида тўкиш имконияти бор. Фильтрловчи дисклар ўрнатилган ичи бўш ўқ электр - ёки гидравлик юриткич ёрдамида айлантирилади. Ёқнинг айланиш частотаси 250 мин^{-1} бўлиб, тефлон сальник ёрдамида зичланади.

Фильтрлашдан аввал суспензаторда қўшимча моддалардан суспензия тайёрланади ва фильтрловчи элементларга ўтиринди чўкма хосил қилинади. Бунинг учун, фильтрловчи элементларда $15...30 \text{ мм}$ қалинликда ўтиринди чўкма пайдо бўлмагунча, насос ёрдамида тайёр суспензия узатилади.

Фильтрат фильтрловчи дискдан ўтиб, ғовак ўқдаги тешиklar орқали ичи бўш ўқга тушади ва филтрдан суспензаторга чиқарилади. Худди шу йўсинда суспензия филтрланади. Жараён тугагандан сўнг, чўкма ювилади ва хаво ёрдамида қисман қурилади.

Лентали фильтр. Бу фильтр ром, узатувчи 1 ва тарангловчи 6 барабанлардан, ҳамда икки барабан орасига тортилган тешикли, чексиз узунликдаги резина лента 4 дан таркиб топган (93-расм).

Тешикли резина лента остида вакуум - камера 3 бўлиб, у пастки қисми билан филтрат 8 ва юувчи суюқлик чиқариш коллекторлари 9 билан уланган. Ҳосил қилинаётган вакуум хисобига лента вакуум – камеранинг тепа қисмига ёпишиб туради. Фильтр тўқима эса, тарангловчи ғилдиракчалар 7 ёрдамида чексиз резина лентига сиқиб қўйилади.

Фильтр тўқимага нов 5 дан суспензия узатилади. Филтрат вакуум остида камераларга ва коллектор орқали йиғгичга юборилади. Ҳосил бўлган чўкмага пуркагич 2 дан юувчи сув берилади ва камераларга сўриб олиниб, сўнг коллектор 9 орқали йиғгич 10 га чиқарилади.

Узатувчи барабанда фильтр тўқима резина лентадан ажрайди ва йўналтирувчи ғилдиракчани айланиб ўтади. Шунда, чўкма фильтр тўқимадан сирпаниб тушади ва чўкма йиғгичга тўкилади. Фильтр тўқима иккита ғилдиракча 7 лар орасидан ўтгунча ювилади, қурилади ва тозаланади.

Фильтрловчи центрифугалар даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлиб, ўқининг жойлашига қараб вертикал ва горизонтал бўлади. Жараён мобайнида ҳосил бўладиган чўкмани тўкишига қараб - қўлда тўкадиган, гравитацион, марказдан қочма ва узилиб - узилиб тўкадиган центрифугаларга бўлинади.

Даврий ишлайдиган фильтрловчи центрифугада суспензия барабан тепасидан юкланади (3.25-расм). Суспензия юклангандан сўнг барабан ҳаракатга келтирилади, яъни айлантриб бошланади. Марказдан қочма куч таъсирида суспензия барабан деворига улоқтирилади. Суюқ дисперсион фаза фильтр тўсик орқали ўтади, чўкма эса унда ушланиб қолади. Фильтрлаш цикли тугаганда сўнг, чўкма қопқоқ 3 орқали қўл ёрдамида олиб ташланади.

Чўкмани ўзи тўкадиган центрифугада чўкма гравитацион куч таъсирида қурилмадан чиқариб юборилади (94-расм).

Одатда бундай центрифугалар тешикли барабан ўрнатилган вертикал ўқли қилиб ясалади. Барабан кичик частота билан айланганда суспензия юкловчи дискка берилади. Барабаннинг пастки қисми конуссимон шаклда бўлиб, конуслик бурчаги чўкманинг табиий қиялик бурчагидан ортиқ қилинади. Фильтрлаш цикли тамом бўлганда ва барабан тўлиқ тўхтаганидан сўнг оғирлик кучи таъсирида чўкма барабан деворидан сирпаниб тушади ва қурилма тубидаги штуцер орқали чиқарилади.

Узлуксиз ишлайдиган, марказдан қочма куч таъсирида чўкмани тўкадиган центрифуга конуссимон тешикли барабан ва унинг ичида айланувчи шнеклардан таркиб топган. Шнекнинг айланиш тезлиги барабанниқидан озгина кам бўлади. Шнек айланиши даврида унинг ўрамлари барабанда ўтириб қолган чўкмани пастга олиб тушади. Чўкмани тўкиш марказдан қочма куч таъсирида амалга оширилади. Шунини алоҳида таъкидлаш керакки, марказдан қочма куч таъсирида тўкиш пайтида чўкма майдаланмайди ва унинг тузилиши бузилмайди.

Фильтрлаш жараёнини интенсивлаш

Халқ хўжалигида кимё, озиқ - овқат ва бошқа саноатлар тайёр маҳсулотининг салмоғи ортиб бориши ва юқори гидравлик қаршиликка эга чўкмаларнинг тури, миқдорининг кўпайиб бориши, филтрлар иш унумдорлигини оширишни тақозо

этади. Бу муаммони хал этиш учун фильтрларнинг фильтрлаш юзаси ва жараён тезлигини ошириш йўллари билан эришиш мақсадга мувофиқдир.

Ҳозирги кунда барабанли вакуум - фильтрларнинг юзаси 140 м², дисклиларники 300 м², лентали фильтрларники 25 м² гача етказилган.

Суспензиялар ажратишда оптимал шароитларни яратиш учун конструктив, технологик ва физик - кимёвий усуллардан фойдаланилади.

Конструктив гуруҳ усуллариға қуйидагилар киради: фильтрлаш жараёнини автоматлаштириш; реверсив (чўкма қалинлиги кам бўлганда), динамик (чўкма узлуксиз ювилиб туриладиган холларда), турли таркибли (цилиндрик юзаларда эгрилик радиуси кичик чўкма қатламлари ҳосил бўлганда) ва тебранма фильтрлаш.

Технологик гуруҳ усуллариға қуйидагилар киради: чўкма қатлами, босимлар фарқи, суспензия концентрацияларининг оптимал қийматларини, ҳамда унинг таркибидаги қаттиқ заррачаларни олдинган майин ва дағал дисперс фракцияларға дастлабки классификациялаш.

Физик - кимёвий гуруҳ усуллариға эға қуйидагилар киради: чўкма солиштирма қаршилигини камайитириш мақсадида суспензияға физик - кимёвий таъсир этиш.

Ушбу тадбирларни суспензия олиш жараёнида ёки ундан кейин ҳам ўтказиш мумкин.

Биринчи ҳолатда суспензия ҳосил қилишда тегишли шароитларни (температура, концентрация ва бошқалар) амалға ошириш мақсадида қаттиқ заррачалар ўлчамини катталаштириш, кристаллик заррачалар (аморф заррачалар ўрниға) олиш имконияти ва коллоид, ёпишқоқ аралашма ҳосил бўлиш олдини олиш мумкин.

Натижада айрим суспензия чўкмаларининг солиштирма қаршилиги 10 ва ундан ортиқ марта пасайтирилиши мумкин.

Иккинчи ҳолатда, яъни суспензияға агрегирловчи ёки қўшимча моддалар қўшиш, суспензия солиштирма қаршилигини кескин равишда камайишға олиб келади.

Фильтрларни ҳисоблаш

Суспензияларни фильтрлаш жараёниға кўпгина омиллар таъсир этганлиги сабабли фильтрларни ҳисоблаш жуда мураккаб масаладир. Шунинг учун, қуйида келтирилган ҳисоблаш схемалари бир қатор тахминлар ва суспензияларни ажратиш қонуниятларини соддалаштиришлар асосида ишлаб чиқилган. Шундай тахминлардан бири, оғирлик кучи таъсирида қаттиқ заррачалар чўкмайди деб, фараз қилинади. Амалиётда заррачалар чўкмаслиги учун суспензия аралаштирилиб турилади.

Ҳисоблашларда эса тажриба йўли билан топилган фильтр тўсиқ ва чўкма гидравлик қаршиликларининг ўртача қиймати ишлатилади.

Узлуксиз ишлайдиган фильтрлар ҳисоби. Бошланғич маълумотларда фильтр иш унумдорлиги берилган бўлади. Ундан ташқари, фильтрлаш юзаси берилиши мумкин ёки қабул қилинади. Демак, юқорида кўрсатилган параметрлар маълум бўлса, яъни фильтрнинг берилган юзаси бўйича фильтрлар сони, фильтрат миқдори ва фильтрлаш жараёни давомийлиги аниқланади.

Барабанли вакуум - фильтрни (фильтр тўсиқ гидравлик қаршилигини ҳисобға

олмаймиз) ҳисоблашнинг умумий кетма - кетлигини кўриб чиқамиз.

1. Фильтр қурилмага энг юқори иш унумдорлик таъминлаш учун чўкма қатлам қалинлигининг рухсат этилган энг кичик қиймати қабул қилинади. Масалан, барабанли вакуум - фильтр учун тахминан 5 мм (чўкма хоссаларига қараб) деб, қабул қилинса бўлади.

2. $x_q = h_q \cdot F/V$ тенгламадан V ни топамиз:

$$V = \frac{h_q \cdot F}{x_0} \quad (208)$$

3. $R_{fm} = 0$ деб қабул қилиб, V нинг қийматини (208) формулага қуйиб ва уни τ га нисбатан ечиб, зарур қалинликдаги чўкма ҳосил қилиш вақтини аниқлаймиз:

$$\tau = \frac{\mu \cdot r_q \cdot h_q^2}{2\Delta p x_q} \quad (209)$$

4. Ҳисоблаш тенгламаларидан фойдаланиб ёки тажриба йўли билан ювиш босқичининг давомийлиги $\tau_{ю}$ ни топамиз.

5. Барабан секциялари умумий сони n дан:

а - сувсизлантириш зонасида n_c^1 та секция;

б - сувсизлантириш зонасида n_c^2 та секция, чўкмани тўкиш ва фильтр тўқимани тиклаш зонасида $n_{тт}$ та секция банд деб қабул қиламиз.

6. Ҳар бир босқичнинг давомийлиги ушбу тенгламалардан аниқланади:

а - сувсизлантириш:

$$\tau_c^1 = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_c^1}{n_{фю}} \quad (210)$$

бу ерда $n_{фю} = n - (n_c^1 + n_c^2 + n_{тт})$ - филтрлаш ва ювиш зоналаридаги барабан секцияларининг сони:

б - сувсизлантириш:

$$\tau_c^2 = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_c^2}{n_{фю}} \quad (211)$$

чўкмани тўкиш ва фильтр тўқимани тиклаш:

$$\tau_{тт} = (\tau + \tau_{ю}) \frac{n_{тт}}{n_{фю}} \quad (212)$$

7. Ушбу тенгликдан циклнинг умумий давомийлиги $\tau_u (с)$ ҳисобланади:

$$\tau_u = \tau + \tau_c^1 + \tau_c^2 + \tau_{ю} + \tau_{тт} \quad (213)$$

8. Барабаннинг айланиш тезлиги w (айл/мин) эса, қуйидаги нисбатдан топилади:

$$w = \frac{60}{\tau_u} \quad (214)$$

9. Фильтрлаш зонасининг марказий бурчаги қуйидагига тенг бўлади:

$$\theta = \frac{360 \cdot \tau}{\tau_{\text{ц}}} \quad (215)$$

10. Фильтринг иш унумдорлиги Q (м³/сутка):

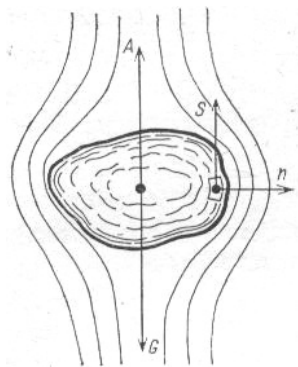
$$Q = \frac{3600 \cdot 24 \cdot V}{\tau_{\text{ц}}} \quad (216)$$

11. Агар, фильтрат бўйича умумий иш унумдорлик $Q_{\text{ум}}$ маълум бўлса, зарур барбанли вакуум - фильтрлар сони ушбу нисбатдан аниқланади:

$$N_{\phi} = \frac{Q_{\text{ум}}}{Q} \quad (217)$$

12- Мавзу: Центрифугалаш тиндириш ва чўктириш оғирлик кучи таъсирида чўктириш

Чўкиш жараёнида қаттиқ жисм турли кучлар таъсирида суюқликда ҳаракат қилади. Оғирлик кучи таъсирида унинг суюқликдаги ҳаракатини кўриб чиқамиз. Бунда, қаттиқ заррачага оғирлик кучи G , кўтарувчи (Архимед) куч A ва ишқаланиш кучлари T таъсир этади (69-расм).



69-расм. Оғирлик кучи G таъсирида заррача чўкишининг дифференциал тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Ихтиёрий шаклдаги заррачани кўриб чиқамиз. Унинг ҳажми чизиқли ўлчамининг учинчи даражасига тўғри пропорционалдир.

$$V = \phi_1 l^3 \quad (148)$$

бу ерда l - заррача габарит ўлчами, диаметри; ϕ_1 - шаклга боғлиқ коэффицент.

Агар, заррача зичлиги ρ_3 , суюқликники ρ_c бўлса, унда заррачага оғирлик кучи G ва кўтарувчи куч A лар таъсир этмоқда. Бу иккала куч қарама-қарши йўналган бўлади.

$$G = \phi_1 l^3 \rho_3 g, \quad A = \phi_1 l^3 \rho_c g \quad (149)$$

Ушбу кучларнинг фарқи таъсири остида заррача суюқликда ҳаракат қилади ва унинг ташқи юза бирлигига ишқаланиш кучи T таъсир этади.

Ишқаланиш кучи T Ньютон-Петров қонунига биноан аниқланади:

$$T = \mu \frac{\partial w}{\partial n}$$

бу ерда μ - динамик қовушоқлик коэффиценти; $\frac{\partial w}{\partial n}$ - тезлик градиенти.

Бутун заррачага таъсир этувчи муҳитнинг қаршилиқ кучи унинг юзасига боғлиқ. Демак, муҳитнинг қаршилиқ кучи қуйидагига тенг:

$$R = \phi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} \quad (150)$$

Механиканинг иккинчи қонунига биноан, оғирлик, кўтарувчи ва ишқаланиш кучларининг тенг таъсир этувчиси, заррача массасининг эркин тушиш тезланишига

кўпайтмасига тенг. Демак:

$$\varphi_1 l^3 (\rho_3 - \rho_c) g - \varphi_2 l^3 \mu \frac{\partial w}{\partial n} = \varphi_1 l^3 \rho_3 \frac{dw}{d\tau} \quad (151)$$

(151) тенглик оғирлик кучи таъсирида чўкаётган заррачанинг дифференциал тенгламаси деб номланади.

Ўхшашлик назарияси услубларини қўллаб, (150) дан оғирлик кучи таъсирида заррачанинг чўкиш жараёнини ифодаловчи ўхшашлик тенгламаларини олиш мумкин.

Бунинг учун (151) тенгламани $\varphi_1 l^3 \rho_c \frac{dw}{d\tau}$ бўлиб:

$$g \frac{d\tau}{dw} \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_3} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_{жс}} - \frac{c_2 \mu \partial w d\tau}{c_1 \rho_3 l \partial n dw} \cdot \frac{\rho_3}{\rho_c} - \frac{\rho_3}{\rho_c} = 0 \quad (152)$$

Олинган натижани $\rho_{ж}/\rho_c$ кўпайтириб ва тегишли қисқартиришларни амалга оширсак, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu \tau}{l \rho} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{\mu}{\rho w l} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \cdot \frac{1}{Re} \quad (153)$$

φ_2/φ_1 - нисбат заррача шаклига боғлиқ ва **шакл коэффиценти** деб номланади:

$$f = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad (154)$$

Ўлчамсиз комплекс эса:

$$\frac{\mu}{\rho w l} = \frac{1}{Re} \quad \text{ёки} \quad Re = \frac{w l \rho}{\mu} = \frac{w l}{\nu}$$

Рейнолдс сони дейилади. Бу сон суюқлик оқимлари харакатининг гидродинамик ўхшашлигини характерлайди, заррачанинг чўкиш жараёнида эса – суюқликнинг заррача атрофидан оқиб ўтиш гидродинамик ўхшашлигини ифодалайди.

Худди шу йўл билан (154) нинг биринчи айрилувчисидан қуйидаги кўринишга келамиз:

$$\frac{g \tau}{w} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{g l}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (155)$$

(155) тенгламани Re^2 га кўпайтирсак, **Архимед** критерийсини оламиз:

$$Ar = \frac{w^2 l^2}{\nu^2} \cdot \frac{g l}{w^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} = \frac{g l^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_3 - \rho_c}{\rho_c} \quad (156)$$

Ушбу критерий оғирлик ва кўтарувчи кучлар фарқининг кўтарувчи кучга нисбатини характерлайди.

Шундай қилиб, ўхшашлик назарияси услубларини қўллаб, (156) тенгламадан заррачаларнинг чўкиш жараёнини ифодаловчи ўхшашлик тенгламасини келтириб чиқариш мумкин:

$$Re = a(fAr)^n \quad (157)$$

Чўкиш жараёнини тажрибавий ўрганиш натижасида қуйидаги режимлар аниқланган: ламинар ($Re \leq 0,2$), ўтиш ($0,2 < Re < 50$) ва турбулент ($Re < 500$). Амалий ҳисоблар учун қуйидаги формулалардан фойдаланиш мумкин:

$Re < 1,85$ ёки $f \cdot Ar < 33$ бўлганда

$$Re = \frac{f \cdot Ar}{18} = 0,056 f \cdot Ar \quad (158)$$

$1,85 < Re < 500$ ёки $33 < f \cdot Ar < 83 \cdot 10^3$ бўлганда

$$Re = 0,152 \cdot (fAr)^{0,725} \quad (159)$$

$Re > 500$ ёки $f \cdot Ar > 83 \cdot 10^3$ бўлганда

$$Re = 1,74 \cdot (fAr)^{0,5} \quad (160)$$

(159)...(160) формулалар ёрдамида аниқланган Рейнолдс сони орқали оғирлик кучи таъсирида суюқликда чўкаётган заррача тезлигини топиш мумкин:

$$w_{чж} = \frac{Re \mu}{l \rho} \quad (161)$$

Ламинар ҳаракат режимида чўкиш тезлигини қуйида келтирилган усулда топилади. d диаметрли сферик шаклга эга заррачалар учун $w_{чж}$ (161) формуладан аниқлаш мумкин:

$$\frac{w_{чж} d \rho}{\mu} = \frac{1}{18} \frac{gd^3(\rho_3 - \rho)}{\nu^2 \rho}$$

Агар, $\nu = \mu / \rho$ эканлигини ҳисобга олсак, чўкиш тезлиги ушбу кўринишда ёзилади:

$$w_{чж} = \frac{gd^2(\rho_3 - \rho)}{18\mu} \quad (162)$$

(162) формула Стокс қонунини, яъни шарсимон заррачаларнинг ламинар режимдаги чўкиш тезлиги, улар диаметрининг квадратига, мухит ва заррача зичликлари фарқига тўғри пропорционал ва мухит қовушоқлигига тескари пропорционаллигини ифодалайди.

Нотўғри шаклдаги заррачалар учун чўкиш тезлиги шарсимонникидан кам бўлади. Заррачаларнинг шакл коэффиценти қийматлари махсус адабиётларда келтирилган.

Суюқликда томчининг чўкиш жараёнида унинг шакли узлуксиз равишда ўзгариб туради. Бундай ҳолларда суюқлик томчисининг чўкиш тезлиги проф. Смирнов Н.И. формуласи ёрдамида ҳисобланади:

$$w_{чж} = \frac{gd^{2,5}}{\sigma} \left(\frac{\rho - \rho_T}{\rho_T} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{\mu}{\rho g} \right)^{0,5} \quad (163)$$

бу ерда d - томчининг ўртача диаметри; σ - фазалар чегарасидаги сиртий таранглик; ρ_r - томчи ҳосил қилувчи суюқлик зичлиги; ρ - мухит зичлиги; μ - мухит қовушоқлиги.

Стокс қонунига биноан, чўкаётган қаттиқ заррачанинг максимал ўлчами ушбу формуладан топилади:

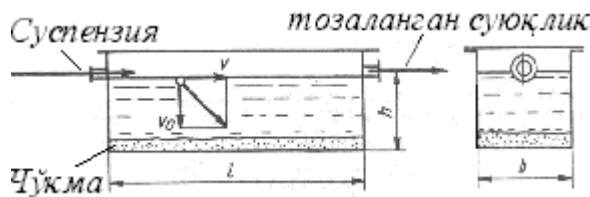
$$d_{\max} \approx 1,56 \sqrt{\frac{\mu^2}{\rho(\rho_r - \rho)}} \quad (164)$$

Чўкиш жараёнининг кинетик қонуниятларини ўрганиш натижасида қуйидаги умумий қоида келиб чиқади: заррача ўлчами ва фаза зичликларининг фарқи ортиши билан чўкиш тезлиги кўпаяди, лекин мухитнинг қовушоқлиги кўпайиши билан чўкиш тезлиги камаяди.

Сиқик чўкиш тезлиги

3.4 параграфда қаттиқ жисмнинг суюқликда ҳаракат қонунлари кўриб чиқилган ва заррачанинг оғирлик кучи таъсирида эркин чўкиш тезлиги аниқланган. Ушбу қонунларни фақат дисперс фаза концентрацияси паст системаларга қўллаш мумкин.

Лекин саноатда дисперс фаза концентрацияси юқори бўлган ҳолларда ҳам чўктириш жараёнлари, яъни чўкаётган заррачалар бир-бири билан тўқнашганда ҳам, амалга оширилади (70-расм).



70-расм. Чўкиш жараёни схемаси.

Кўпчилик тадқиқотлар шуни кўрсатдики, чўкма қатлами устида қуюқлашган суспензия зонаси ҳосил бўлади ва бу ерда **сиқик** шароитда заррачаларнинг чўкиши рўй беради. Бунда, заррачалар ўзаро тўқнашади ва жараён ишқаланиш кучи иштирокида боради. Натижада, майда заррачалар ўзидан катта, йирик заррачалар ҳаракатини секинлаштиради. Шу пайтнинг ўзида йирик заррачаларни ўзи билан бирга майда, кичик ўлчамли заррачаларни илаштириб олиб кетади ва уларнинг ҳаракатини тезлаштиради. Қурилма тубига яқинлашган сари заррача тезлиги пасаяди ва чўкма аста-секин зичланиб боради. Заррача тезлигининг пасайиши суюқликнинг тўхтатиш ҳаракати, яъни заррача сиқиб чиқараётган суюқлик ҳаракатининг тескари йўналиши билан белгиланади.

Заррачанинг сиқик чўкиши ҳар доим эркин чўкиш тезлигидан кам бўлади. Бунга сабаб мухитнинг қаршилиги ва қўшимча қаршилик мавжудлиги, яъни ишқаланиш қаршилиги ва заррачаларнинг ўзаро тўқнашувидир. Ушбу ҳолатда мухит қаршилигининг ортиши, чўкаётган заррачалар массасининг суюқликка динамик таъсири билан характерланади. Бу ҳол, ўз навбатида, мухитда кўтариловчи оқимлар ҳосил бўлишига олиб келади.

Гидродинамик нуктаи назаридан, заррачаларнинг сиқик чўкиши, қаттиқ заррачалар қатламининг мавҳум қайнаш жараёнига ўхшашлигидир.

Шунинг учун, кўзғалмас мухитда заррачаларнинг бир текисда чўкиши, уларнинг кўтарилувчи оқимда учиб юришига айнан ўхшашдир. Демак, сиқик чўкиш қонуниятларини, мавхум қайнаш қатламидаги кўтарилувчи оқим ҳаракати орқали ўрганиш қулайдир. Бунда, сиқик чўкиш тезлиги қаттиқ заррачалар қатламининг мавхум қайнаш ҳолатидаги оқим тезлигига тенг. Заррачалар концентрацияси нолга қараб интилганда, сиқик чўкиш тезлиги максимал қийматига, яъни эркин чўкиш тезлигига яқинлашиши шубҳасиздир.

Шундай қилиб, ҳисоблаш формуласининг умумий кўриниши мавхум қайнаш қатламида оқимнинг тезлигини аниқлаш каби бўлиши керак, яъни қуйидаги функция орқали ифодаланади:

$$Re_{c\psi k} = f(Ar, \varepsilon)$$

Хамма режимлар учун сиқик ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re_{c\psi k} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6\sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}} \quad (165)$$

бу ерда:

$$Re = \frac{wd\rho}{\mu} \quad \text{ва} \quad Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_3 - \rho}{\rho} \quad (166)$$

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (167)$$

бу ерда: V_0 - суспензиядаги суюқлик ҳажми, m^3 ; V - суспензиядаги қаттиқ заррачалар ҳажми, m^3 .

Шарсимон қаттиқ заррачаларнинг сиқик ҳолатдаги чўкиш тезлигини қуйидаги тенгламалар ёрдамида топиш мумкин:

агар $\varepsilon > 0,7$ дан бўлса:

$$w_{c\psi k} = w_{\psi k} \cdot \varepsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\varepsilon)} \quad (168)$$

агар $\varepsilon \leq 0,7$ дан бўлса:

$$w_{c\psi k} = w_{\psi k} \frac{0,123 \cdot \varepsilon^2}{1 - \varepsilon} \quad (169)$$

Суспензия концентрацияси ва заррачалар шаклининг чўкиш тезлигига таъсири

Юқорида қайд этилгандек, суюқ мухитда 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 $f < 1$ 3-1 жадвал

Т/р	Заррача шакли	Коэффициент f
1	Шар	1,00
2	Думалоқ	0,77
3	Серқирра	0,66
4	Чўзинчоқ	0,58
5	Пластинасимон	0,43

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

$$w'_{чж} = w_{чж} \cdot f \quad (170)$$

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 тўкнашади ва катта заррачалар майдаларини илтириб, ўзи билан олиб кетади. Заррачаларнинг бундай тўкнашуви натижасида, уларнинг ҳаракат энергияси йўқотилади, яъни муҳитнинг қаршилиги ортади ва оқибатда чўкиш тезлиги камаяди.

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

Марказдан қочма куч таъсирида чўктириш

Эмульсиядаги суюқлик томчиларини ва суспензиядаги қаттиқ заррачаларни марказдан қочма кучлар майдонида ажратиш жараёнига **центрифугалаш** дейилади. Центрифугалаш жараёнини амалга оширадиган қурилма **центрифуга** деб номланади.

Марказдан қочма куч таъсирида суспензия **чўкма** ва **фугат** деб номланувчи суюқлик фазаларга ажралади. Одатда чўкма қурилма ротори ичида қолади, фугат эса - ташқарига чиқарилади.

Центрифуга ишлаш пайтида ҳосил бўладиган марказдан қочма куч чўктириш жараёнидаги оғирлик ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан анча катта бўлади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун қўлланиладиган чўктириш ва филтрлаш жараёнларига қараганда центрифугалаш жуда самарали ҳисобланади.

Центрифуганинг асосий қисми горизонтал ёки вертикал ўкга ўрнатилган ва катта тезликда айланувчи цилиндрик ротор бўлиб, у электр юриткич ёрдамида айланма ҳаракатга келтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида турли жинсли системадаги қаттиқ заррачалар чўкмага тушиб, суюқликдан ажралади.

Ажратиш принципага қараб, центрифугалар 2 хил бўлади: филтрловчи ва чўктирувчи центрифугалар.

Чўктирувчи центрифуганинг цилиндрик ротори яхлит деворли бўлиб, эмульсия ва суспензияларни чўктириш принципи асосида ажратади. Бу қурилмада ажратиш жараёнида оғирлик кучи ўрнига марказдан қочма куч ишлатилади. Цилиндрик ротор айланиши натижасида ҳосил бўладиган марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия ротор деворига қараб ҳаракат қилади. Зичлиги юқори бўлган қаттиқ заррачалар ротор деворида, зичлиги камроғи эса - ўк атрофида йиғилади.

Филтрловчи центрифуга ротори ғоваксимон бўлиб, эмульсия ва

суспензияларни филтрлаш принципи асосида ажратади. Бу қурилмаларда, ажратиш жараёнида босимлар фарқи ўрнига, марказдан қочма куч ишлатилади.

Бу турдаги центрифугаларда суспензия ёки эмульсия ротор деворига қараб ҳаракат қилади ва фазаларга ажралади. Фазаларга ажратиш жараёни қуйидагича рўй беради: суюқ фаза роторнинг тўсиғидан ўтиб, қурилма қобиғига йиғилади ва штуцер орқали чиқарилади. Қаттиқ фаза эса, филтрловчи тўсиқда ушланиб қолади ва ундан сўнг ротордан туширилади.

Ишлаш принципага кўра центрифугалар даврий ва узлуксиз бўлади. Ротор ўқининг ўрнатилишига қараб, горизонтал ва вертикал центрифугалар бўлади. Даврий ишлайдиган центрифугаларда чўкма қўл, оғирлик кучи ёки пичоқ ёрдамида туширилади. Узлуксиз центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида инерцион ва пульсацион кучлар ёрдамида туширилади.

Филтрловчи ва чўктиривчи центрифугаларда ажратиш жараёнларининг тахлили шуни кўрсатадики, чўктириш ва филтрлаш жараёнлар билан центрифугалаш орасида ўхшашлик кўп ва ҳамма жараёнларнинг умумий қонуниятлари ҳам ўхшашдир.

Центрифугаларда ҳосил бўладиган марказдан қочма куч ушбу тенглик билан ифодаланади:

$$c = \frac{mw^2}{r} = \frac{Gw^2}{gr} \quad (171)$$

бу ерда: m - айланувчи жисм массаси, кг; G - айланувчи жисм оғирлиги, Н; w - роторнинг айланиш тезлиги, м/с; g - эркин тушиш тезланиши, м²/с; r - айланиш радиуси, м.

Роторнинг айланиш тезлиги ушбу тенгликдан топилади:

$$w = \omega \cdot r = \frac{2\pi n}{60} r \quad (172)$$

бу ерда: ω - бурчак тезлиги, рад/с; n - айланиш сони, айл/мин.

(3.29) ва (3.30) тенгликлардан марказдан қочма кучни аниқлаймиз:

$$C = \frac{G}{rg} \left(\frac{2\pi n}{60} r \right)^2 \quad (173)$$

ёки

$$C \approx \frac{Gn^2}{900} \quad (174)$$

Шундай қилиб, ротор диаметрини кўпайтиришга қараганда, унинг айланиш сонини ошириш, марказдан қочма кучнинг ўсишига олиб келади.

Центрифугаларнинг иш унумдорлиги ажратиш коэффициентига боғлиқ. Центрифугаларда ажратиш коэффициенти марказдан қочма кучлар майдонида ҳосил бўлган кучланиш билан характерланади. Центрифугада ҳосил бўлаётган марказдан қочма кучлар миқдорининг оғирлик кучи тезланишидан неча марта кўплигини кўрсатувчи катталиқ **ажратиш коэффициенти** деб номланади:

$$K_a = \frac{w^2}{rg} \quad (175)$$

Центрифуга ротори айланиш частотасининг ортиши ва унинг диаметри камайиши билан марказдан қочма куч майдонида ажратиш самарадорлиги ортади.

Агар, айланиш тезлигини айланиш частотаси орқали, ифодаласак ажратиш коэффициентини аниқлаш учун ушбу кўринишдаги формулани оламиз:

$$K_a \approx \frac{n^2 r}{900} \quad (176)$$

Ажратиш коэффициенти центрифугаларнинг муҳим характеристикаси бўлиб, унинг ажратиш қобилиятини аниқловчи кўрсаткичдир.

Тиндириш ва чўктириш қурилмалари

Чўктириш жараёни турли конструкцияли қурилмаларда, яъни чўктиргичларда амалга оширилади.

Чўктиргичда суспензия ҳаракати туфайли чўктириш жараёни содир бўлади: қаттиқ заррачалар қурилма тубига чўкади ва чўкма қатлами ҳосил қилади.

Одатда, чўктиргичларни ҳисоби ўз ичига энг майда заррачаларни чўктиришни кўзда тутади.

Чўктиргичнинг солиштирма иш унумдорлигини қуйидаги формуладан топиш мумкин:

$$V = \frac{lbh}{\tau_0} \quad (177)$$

бу ерда: ***l, b, h*** - қурилманинг геометрик ўлчамлари, м; ***τ*** - заррачаларнинг ўртага чўкиш давомийлиги, с.

Агар, чўктиргичнинг иш унумдорлиги маълум бўлса, чўктириш юзасини ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{G}{\rho \cdot w} \quad (178)$$

бу ерда: ***G = G_m / τ*** – чўктиргич иш унумдорлиги, кг/с; ***ρ*** - маҳсулот зичлиги, кг/м³.

Тиндириш ва чўктириш учун мўлжалланган қурилмалар ишлаш принципага кўра қуйидагиларга бўлинади: гравитацион чўктиргич, центрифуга, гидроциклон ва сепараторларга.

Тиндиргичлар узлукли, ярим узлуксиз ва узлуксиз ишлайдиган бўлади.

Узлукли ишлайдиган тиндиргич. Бу турдаги қурилма аралаштиргичи бўлмаган, ясси сув хавзасидан иборат. Сув хавзаси суспензия билан тўлдирилгандан сўнг, тўлиқ ажралиш содир бўлгунча, чўктириш жараёни давом этади.

Ундан кейин, чўкма қатламидан юқорида жойлашган штуцердан тозаланган суюқлик чиқариб олинади. Қурилма тубидаги қаттиқ заррачалардан бўлган чўкма қўл ёрдамида олиб ташланади.

Чўктиргич ўлчамлари ва шакли турли жинсли система заррачалари диаметри ва суспензия концентрациясига боғлиқ. Суспензия зичлиги ва заррачаларининг диаметри ортиши, тиндиргич ўлчамларини камайтириш имконини беради.

Тиндириш жараёнининг давомийлиги дисперсион фаза қовушоқлигига боғлиқ. Маълумки, температура ўсиши билан суюқликлар қовушоқлиги пасаяди. Шунинг учун, чўктириш жараёнини интенсивлаш мақсадида суспензиялар қиздирилади (агар технологияга зид бўлмаса).

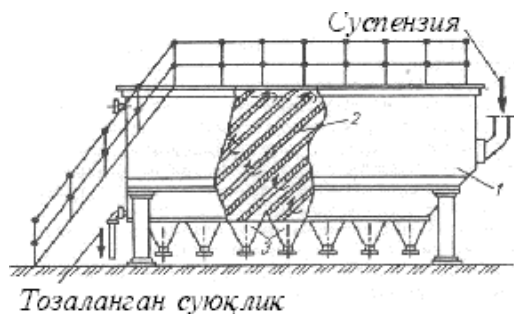
Қия тўсиқли, ярим узлуксиз тиндиргич. Суспензия штуцер орқали

қурилмага киритилади ва қия ўрнатилган тўсиқ 2 лар ёрдамида галма-гал юқоридан пастга ва пастдан юқорига қараб йуналтирилади (71,72-расм).

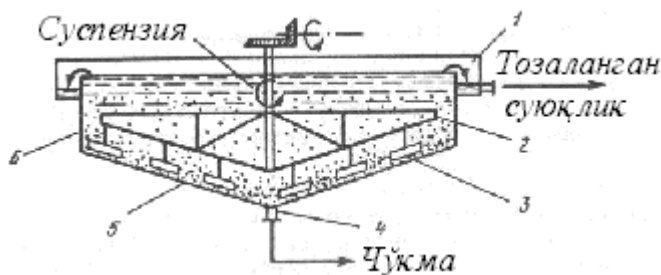
Қия тўсиқлар қурилмада суспензиянинг ҳаракат давомийлиги ва тиндириш юзасини оширади. Ҳосил бўладиган шлам эса, бункер 3 ларда йиғилади ва тўлиб чиққандан сўнг кранлар ёрдамида чиқазиб юборилади.

Тозаланган суюқлик тиндиргичнинг тепа қисмида ўрнатилган штуцер орқали чиқарилади.

Кимё ва озиқ - овқат саноатларида узлуксиз ишлайдиган тиндиргичлар кенг қўламда қўлланилмоқда.

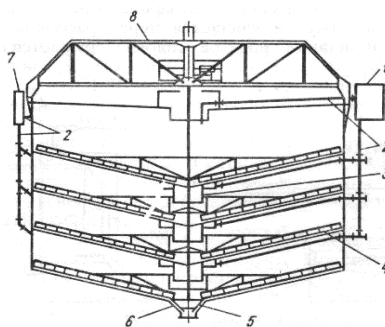


71-расм. Қия тўсиқли ярим узлуксиз тиндиргич.
1 - қобик; 2 - қия тўсиқлар; 3 - бункерлар.



72-расм. Эшкак аралаштиргичли узлуксиз ишлайдиган тиндиргич.
1 - халқасимон тарнов; 2 - аралаштиргич; 3 - эшкак; 4 - люк; 5 - конуссимон туб; 6 - цилиндрик қобик

Эшкак аралаштиргичли, узлуксиз ишлайдиган тиндиргич. Одатда бундай турдаги тиндиргич конуссимон туб 5 ва цилиндрик қобик 6 дан, хамда қурилманинг тепа қисмидаги халқасимон тарнов 1 дан таркиб топган бўлади (3.5-расм). Чиқариш люки 4 га чўкмани узатиш учун қия парракли аралаштиргич 2 да бир неча эшкаклар ўрнатилган бўлади. Аралаштиргич $0,02...0,5 \text{ мин}^{-1}$ частота билан айланади. Труба ёрдамида суспензия цилиндрик қобик ўртасига узлуксиз равишда узатилади. Тозаланган суюқлик халқасимон тарновга қуйилади ва сўнг тиндиргичдан чиқарилади. Ҳосил бўлган шлам диафрагмали насос ёрдамида қурилманинг пастки қисмидан сўриб олинади. Агар, шлам таркибидаги дисперс фаза қимматли ёки келгуси технологик жараёнлар учун яроқли бўлса, у қайта ишланишга юборилади.



73-расм. Кўп қаватли тиндиргич.
1 — таксимловчи мослама; 2 - трубалар; 3 - стакан; 4 - эшкакли аралаштиргич; 5 — тўкиш конуси; 6 - қирғич; 7 - коллектор; 8 - ром.

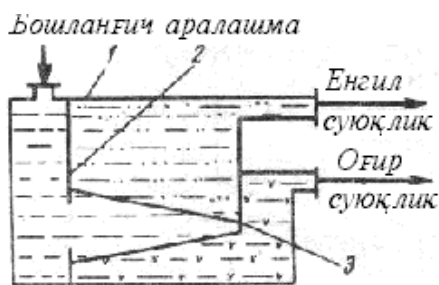
Бу турдаги тиндиргичларда зичлиги бир текисда бўлган чўкмаларга ва уни самарали сувсизлантиришга эришса бўлади. Эшкакли тиндиргичлар камчилиги, бу уларнинг қўполлигидир.

Кўп қаватли тиндиргич. Бундай қурилмалар узлуксиз ишлайди ва бир-бири устига ўрнатилган бир нечта эшкакли тиндиргичлардан иборат (73-расм). Ҳар бир қаватлар орасида конуссимон тўсиқлар жойлаштирилган. Бу тўсиқлар туфайли тиндиргич юзаси анчага қўпаяди ва натижада қурилма ихчамроқ бўлади.

Тиндиргич умумий ўкга эга бўлиб, унга аралаштирувчи эшкаклар жойлаштирилади. Суспензия эса тақсимловчи мосламадан трубалар орқали ҳар бир қават стаканига узатилади. Тозаланган суюқлик халқасимон тарновлардан ўтиб, коллекторда йиғилади. Ҳар бир ярус шламни чиқариб юбориш стаканлари билан уланган. Юқорида жойлашган ҳар бир қават стаканининг пастки учи қуйи қават шламини ичига кириб туради. Шундай қилиб, тиндиргичнинг қаватлари шлам бўйича кетма-кет уланган. Ҳосил бўлаётган шлам фақат энг пастки қаватнинг ичида қирғич ўрнатилган тўкиш конусидан чиқарилади.

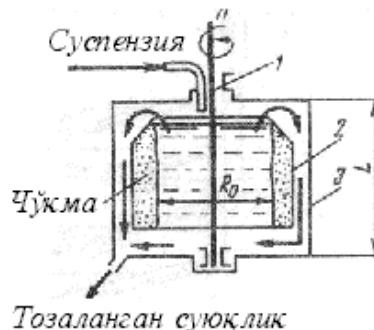
Эмульсияларни узлуксиз ажратиш тиндиргичи бир неча қисмдан иборат (74-расм). Эмульсия қурилманинг чап қисмига берилади ва у ердан ўрта сепарацион камерага узатилади.

Чап тўсиқ 2 аралашма сатхи баландлигини ростлаш имконини беради. Сепарацион қисмда бошланғич аралашма оғирлик куч таъсирида фазаларга ажрайди. Енгил фаза тепага кўтарилади ва тиндиргичнинг юқорисидаги штуцердан оқиб чиқади. Оғир фаза эса, ўнг тўсиқ 3 остидан ўтиб пастга тушади



74-расм. Эмульсияларни узлуксиз ажратиш учун тиндиргич.

1 - қобик; 2 - чап тўсиқ; 3 - ўнг тўсиқ.



75-расм. Чўктирувчи центрифуга.

1 – ўк; 2 - ротор; 3 – қобик.

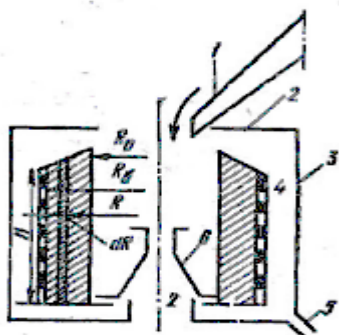
ва қурилма тубидаги штуцердан оқиб чиқади.

Чўктирувчи центрифуга. Бу турдаги қурилмалар ротори яхлит металлдан тайёрланади (75-расм). Уларнинг ишлаш принципи худди тиндиргичларникига ўхшашдир. Бошланғич аралашма қурилма роторига труба орқали узатилади. Ротор 2 нинг айланиши натижасида марказдан қочма куч таъсирида зичлиги юқори бўлган заррачалар роторнинг ички юзасига тўпланади, зичлиги камроғи эса, айланиш ўқиға яқинроқ жойда йиғилади. Тозаланган суюқлик, яъни фугат, қобик 3 даги штуцер орқали ташқарига чиқарилади. Ротор деворида ҳосил бўлган чўкма эса, жараён тугагандан сўнг тўкилади.

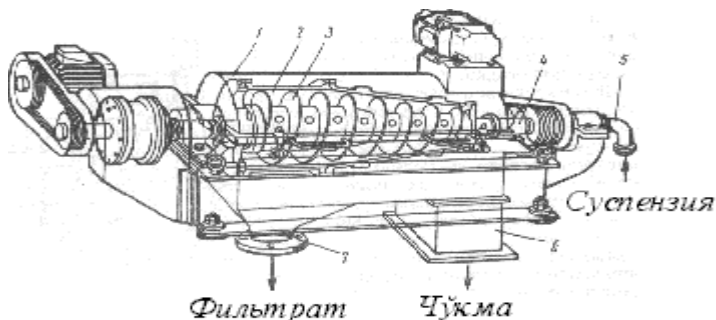
Фильтрловчи центрифуга. Ушбу центрифуга қобик 3 ичида ўрнатилган айланувчи ротор 4 дан ташкил топган. Ротор девори тешик, тўрсимон бўлиб, унинг

ички юзаси филтрловчи материал билан қопланган (76-расм).

Ротор электр юриткич ёрдамида айлантиради. Айланма ҳаракат туфайли ротор 4 ичидаги суюқликга марказдан қочма куч таъсир қила бошлайди. Натижада



76-расм. Филтрловчи центрифуга.
1 - суспензия бериш труба; 2 – чўкма туширадиган тешик; 3 - қобик; 4 - ротор; 5 - фугат чиқариш штуцери; 6 - конус.



77-расм. Узлуксиз ишлайдиган, чўкмани шнекда тўқувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга.
1 - қобик; 2 - ротор; 3 - шнекли мослама; 4 - ғовак ўқ; 5 - марказий труба; 6 – чўкма камераси; 7 – фугат чиқариш патрубкиси.

гидростатик босим ҳосил бўлади ва у жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи деб аталади.

Ушбу куч таъсирида аралашма филтрловчи материал ва ротор деворида ҳосил бўлган чўкма қатламидан ўтиб тозаланади. Бундай центрифугаларда жараён уч босқичда ўтади: а) чўкма ҳосил қилиш ва филтрлаш; б) чўкма қатламининг зичланиши; в) чўкмадан суюқ фазани ажратиш. Жараёнда ҳосил бўлган фугат штуцер 5 дан ташқарига чиқарилади. Жараён тамомлангандан сўнг, чўкма сув билан ювилади. Ҳамма босқичлар тутагандан кейин центрифуга тўхтатилади, сўнг эса конус 6 тепага қўтарилади ва чўкма тўкилади.

Узлуксиз ишлайдиган, чўкмани шнекда тўқувчи горизонтал чўктирувчи центрифуга (НОГШ). Ушбу қурилма ротор 2 ва қобик 1 да ўрнатилган шнекли мослама 3 лардан таркиб топган (77-расм). Суспензия марказий труба 5 орқали ғовак ўқ 4 га узатилади. 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 каттиқ заррачалар ротор деворига қараб ҳаракат қилади, суюқлик эса ички халқа ҳосил қилади. Бу суюқлик халқасининг қалинлиги ротор ён томонидаги тўкиш тешикларининг жойлашиши билан аниқланади. Ротор бўйлаб чўкма ҳаракат қилганда йўл – йўлакай зичланиб боради. Технологик зарурият бўлса, чўкма ювилиши ҳам мумкин.

Фугат эса, тўкиш тешиклар 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:

$$V = \frac{3,5D_T^2 \cdot L_T(\rho_3 - \rho)d^2n^2}{\mu} \quad (179)$$

бу ерда; D_T , L_T - тўкиш цилиндрининг диаметри ва узунлиги, м; ρ_3 , ρ -

заррача ва мухит зичликлари, кг/м^3 ; d - заррачанинг энг кичик диаметри, м; n - роторнинг айланиш частотаси, мин^{-1} ; μ - динамик қовушоқлик коэффициент, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Чўктирувчи центрифугалар иш унумдорлиги эса ушбу формуладан ҳисобланади:

$$V = \eta F w_k \quad (180)$$

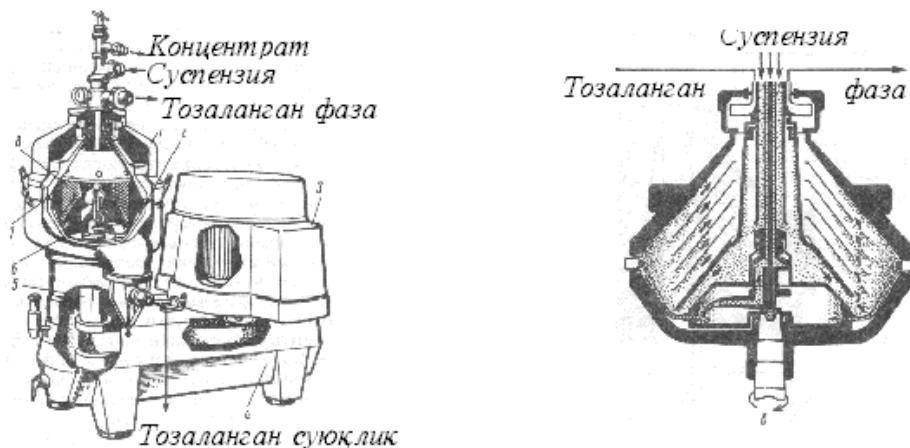
бу ерда: η - пропорционаллик коэффициенти; $F = 2\pi R_0 L$ - ротордаги суспензия кўзгуси майдонининг юзаси (бу ерда R_0 - суспензия халқасимон қатламининг ички радиуси, м; L - ротор узунлиги, м) м^2 ; $w_k = w_{\text{чук}} \cdot K$ - марказдан қочма куч таъсиридаги чўкиш тезлиги, м/с (бу ерда $w_{\text{чук}}$ - оғирлик кучи таъсирида чўкиш тезлиги, м/с; K - ажратиш коэффициенти).

(3.39) тенглама ёрдамида чўкмани пичоқ билан кесиб оладиган чўктирувчи центрифуга иш унумдорлигини ҳисоблаш формуласини келтириб чиқариш мумкин:

$$V = 25,3 \cdot \eta L n^2 R_0^2 w_{\text{чк}} \cdot k \quad (181)$$

бу ерда: k - суспензия ўзатиш вақтининг центрифуга умумий ишлаш вақтига нисбати.

Тарелкали сепаратор. Бу турдаги қурилмалар қобик 1 ичида жойлашган



78-расм. Тарелкали сепаратор.

а - умумий кўриниш; б - тарелкалар ишлаш схемаси.

1-қобик; 2-ички сопло; 3-узатма; 4-ром; 5-ишчи валнинг алмашилиш втулкаси; 6-ростловчи труба; 7-ювиш системаси клапани; 8-тарелкалар дастаси.

ротор ва тарелкалар дастаси 8 лардан таркиб топган (78-расм).

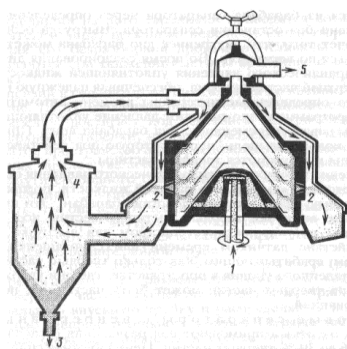
Сепараторга суспензия берилиши ташқи халқасимон труба орқали амалга оширилади (78б-расм). Суспензия кўп тешили тарелка остига узатилади ва марказдан қочма куч таъсирида қисман ажратилади. Ундан сўнг, суспензия 2 юқорида жойлашган тарелкалар орасига кўтарилади. Тарелкалар дастаси заррачалар эркин чўкиш масофасини камайтириш ҳисобига сепарация жараёнининг самарадорлигини оширади. Агар, ажратиб олинган заррачалар тарелканинг пастки юзасига етиб келган бўлса, унда улар бутун аралашмадан ажратиб олинган деб ҳисобласа бўлади.

Чўкган заррачалар ички соплолардан халқасимон трубага ўтади ва сепаратордан чиқариб юборилади. Тозаланган суюқлик четдаги трубадан чиқарилади.

Соплоли сепараторларнинг бир тури бўлиб **бактофуга** ҳисобланади (79-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.

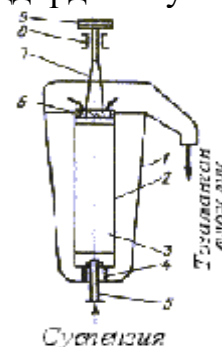
Бактофугалар афзалликлари: юқори ажратиш коэффициенти; концентрат каттиқ заррачалари узлуксиз равишда тўкилиб туради; технологик ва тозаланган суюқликлар кириши ва чиқишининг герметиклиги, сепарация жараёнида унинг совитилиши; ифлосланган хаво сирқиб кетиш олдини оловчи мослама борлиги.

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



79-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 хаво оқими; 5 - бактофугада тозаланган суюқлик чиқиш штуцери.



80-расм. ўта самарали центрифуга.

1 - қобик; 2 - ротор; 3 - паррак; 4 - поднятник; 5 - труба; 6 - тозаланган суюқлик чиқиш тешиги; 7 - шпиндель; 8 - таянч; 9 - шкив.

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 хаво 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 коэффициенти 15000 га тенг (80-расм).

13-Мавзу: Газларни тозалаш

Умумий тушунчалар

Газ аралашмалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни саноат миқёсида ажратишдан мақсад хаво ифлослигини камайтириш, қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиб олиш ёки технологияга салбий таъсир этувчи зарарли, ҳамда қурилмаларни бузилишга олиб келувчи моддаларни чиқариб ташлашдир.

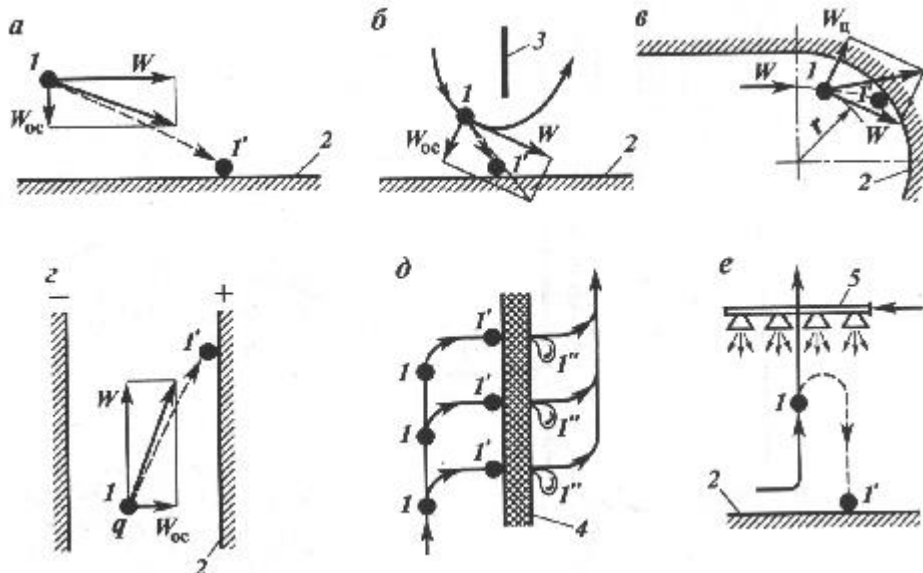
Кимё ва озиқ - овқат саноатларнинг асосий технологик жараёнларидан бири ифлосланган газларни тозалашдир. Шунинг учун, турли жинсли газ системаларни ажратиш кимёвий технологиянинг долзарб ва энг кенг тарқалган асосий жараёнларидан биридир.

Саноат миқёсида чанг ҳосил бўлишининг манбалари: қаттиқ жисмларни механик майдалаш (чақиш, эзиш, аралаш, едирилиш ва уларни узатиш), ёқилгилар ёнишида (кул ҳосил бўлиш), буғлар конденсацияланишида, ҳамда газларнинг ўзаро кимёвий таъсири натижасида қаттиқ маҳсулотлар ҳосил бўлиш жараёнида.

Одатда, чанглар таркибида ўлчами 3...100 мкм бўлган қаттиқ заррачалар мавжуд бўлади. Буғлар конденсацияланиши натижасида 0,001...1 мкм ўлчамли майда суюқлик томчилари ҳосил бўлади.

Газларни қуйидаги тозалаш усуллари маълум:

1. оғирлик кучи таъсирида чўктириш (гравитацион тозалаш);
2. инерция кучлари таъсирида чўктириш, яъни марказдан қочма кучлар;
3. филтрлаш;
4. суюқлик билан ювиб тозалаш;
5. электростатик кучлар таъсирида чўктириш (электр майдон таъсирида).



124 расм. Газ оқимидаги заррачаларни ажратиб олишнинг асосий усуллари.

а- оғирлик кучи таъсирида чўктириш; б- инерцион кучлар таъсирида чўктириш; в- марказдан қочма куч таъсирида чўктириш; г- электр майдони таъсирида чўктириш; д- филтрлаш; е- ювиб тозалаш;
1- газ таркибидаги заррача; 1'(1'')- газдан ажратиб олинган заррача; 2- чўктириш юзаси; 3- тўсик;
4- филтр-тўсик; 5- суюқликни пуркаш мосламаси.

Биринчи иккита усулда, яъни оғирлик ва марказдан қочма кучлар таъсирида,

тозалаш натижасида йирик заррачаларни, қолган усулларда эса - 20 мкм ва ундан ўлчами кичик бўлган заррачаларни ажратиб олиш мумкин.

Хар доим ҳам битта газ тозалаш қурилмасида газларни керакли юқори даражада тозалаб бўлмайди. Шунинг учун, амалиётда икки ва кўп босқичли тозалаш қурилмалари қўлланилади.

Газни тозалаш даражаси η қуйидаги тенгламадан аниқланади:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \cdot 100\% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} \cdot 100\% \quad (410)$$

бу ерда G_1 ва G_2 – бошланғич ва тозаланган газдаги қаттиқ заррачалар массаси, кг/соат; V_1 ва V_2 – бошланғич ва тозаланган газларнинг хажмий сарфлари, м³/соат; x_1 ва x_2 – бошланғич ва тозаланган газда қаттиқ заррачалар концентрацияси, кг/м³.

Газсимон турли жинсли системаларни тозалаш жараёнининг назарий асослари юқорда параграфларда баён этилган.

Оғирлик кучи таъсирида газларни тозалаш

Чўктириш жараёнини ҳисоблашлар параграфда келтириб чиқарилган, яъни қаттиқ заррачаларни суюқликларда чўкишни ифодаловчи тенглама ва қонуниятлар қўлланилади.

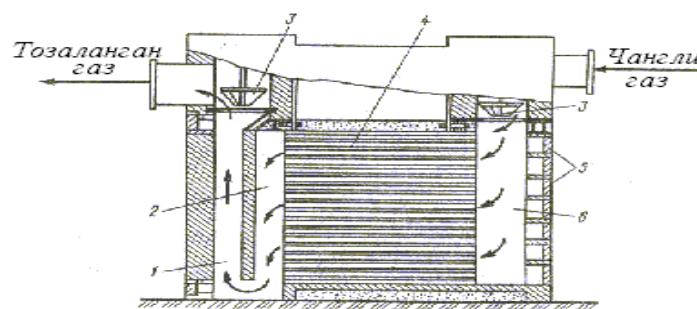
Чангларни (дағал тозалаш учун) тозалаш учун даврий ва уздуксиз ишлайдиган қурилмалардан фойдаланилади. Чанг чўктириш камераси бу турдаги асосий қурилмалардан биридир.

Чанг чўктириш камераси ичида горизонтал токчалар жойлаштирилган бўлиб, тўғри тўртбурчак шаклдаги асосий қисмдан иборат (125-расм).

Чанг, ростловчи клапан 3 орқали сўриш канали 6 га киради ва горизонтал токчалар 4 орасига тақсимланади. Токчалар орасидаги масофа 100...4000 мм бўлади.

Токчаларнинг асосий вазифаси чанг заррачалари чўкиш масофасини қисқартиришдир. Ундан ташқари, токчалар борлиги чўкиш юзасини кўпайишига олиб келади. Токчалар орасида чанг ҳаракат қилганда, чанг оқимининг йўналиши

ўзгаради, бу эса унинг тезлигини камайишига олиб келади. Натижада қаттиқ заррачалар уларнинг юзасида чўкиб қолади. Тозаланган газ эса, чиқиш канали орқали ташқарига йўналади. қурилма камерасида чанг газ оқимининг тезлиги чўкиш вақти билан чегараланади.



125-расм. Чанг чўктириш камераси. 1 – чиқиш канали; 2 – йиғувчи канал; 3 – клапанлар; 4 – горизонтал токча; 5 – эшикчалар; 6 – сўриш канали.

Чўктириш камерасида чанг газ оқимининг ҳаракати вақтида қаттиқ заррачалар токчалар юзасига чўкиб улгуриши керак.

Токчаларга йиғилиб қолган чанглар вақти - вақти билан куракчаларда олиб ташланади ёки сув билан ювилади. Чанг чўктириш камераси навбатма-навбат ишлайдиган икки бўлимдан иборат. Биринчи бўлим чанг (қаттиқ заррачалар)дан тозаланса, иккинчисида эса, шу вақтда газни тозалаш жараёни боради ва натижада қурилманинг узлуксиз ишлашига эришилади.

Чанг чўктириш камерасининг ишчи юзаси (410) тенглама ёрдамида ҳисобланади. Бунда $x_4 = 1$ деб қабул қилиш мумкин.

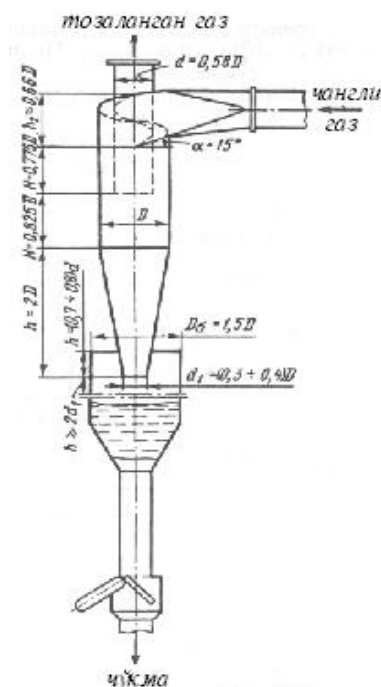
Чанг чўктириш камерасида фақат газлардан йирик заррачаларни ажратиш мумкин, яъни дағал тозалаш учун қўллаш мақсадга мувофиқдир. Шунинг учун, бу турдаги қурилмалар дастлабки тозалаш учун, яъни қаттиқ заррачалар ўлчами 100 мкм дан катта бўлган газсимон турли жисмли системаларни ажратиш учун мўлжалланган. Ҳурилманинг тозалаш даражаси - 30...40%.

Ҳозирги кунда ушбу турдаги қурилмалар қўполлиги ва самадорлиги паст бўлгани учун замонавий ва мукамал тозалаш қурилмалари билан алмаштирилмоқда.

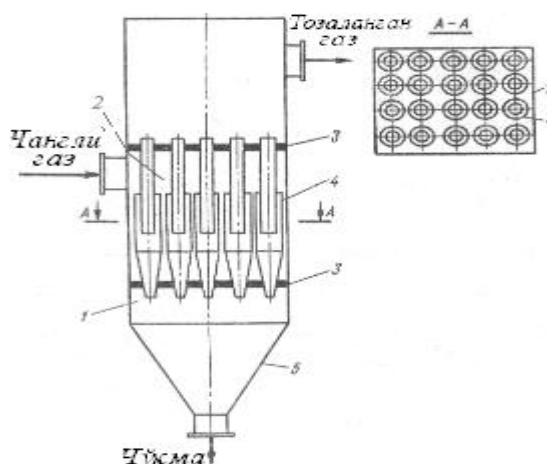
Инерцион ва марказдан қочма кучлар таъсирида газларни тозалаш

Инерция кучлари остида газларни тозалаш қайтарувчи тўсиқли тиндиргич ва марказдан қочма кучлар таъсирида ишлайдиган циклонлар конструкцияси асосида ётибди.

Қайтарувчи тўсиқли тиндиргич йирик дисперсли чангларни ажратиш учун мўлжалланган (127-расм).



127-расм. НИИОГаз циклон.



126-расм. Батарейли циклон.

1 - қобик; 2 - газ тақсимлаш камераси;
3 - панжара; 4 - циклон элементи; 5 - бункер.



128-расм. Қайтарувчи тўсиқли тиндиргич.

1 - қайтарувчи тўсиқлар; 2 - чанг

100...1000 мм ли циклонлар тайёрланади. Уларнинг ишлаш самарадорлиги ажратиш коэффиценти билан характерланади. Чангларни тозалаш даражаси циклон конструкцияси, заррача ўлчами ва зичлигига боғлиқ.

Масалан, 25 мкм ли заррачалар чўктирилатган бўлса, циклоннинг ф.и.к. 95 % ни ташкил этади, лекин заррача диаметри 10 мкм бўлса, ф.и.к. 70% гача камаяди.

Циклон кичик гидравлик қаршилик ва нисбатан юқори тозалаш даражасига эга бўлган цилиндрик ва конуссимон қисмлардан иборат қурилмадир (127-расм).

Чангли газ тангенциал йўналишда 10...40 м/с тезликда циклоннинг кириш патрубкиси орқали киритилади. Тангенциал кириш ва қурилманинг ичида марказий чиқариш трубаesi борлиги учун газ оқими пастга спиралсимон айланма ҳаракат қилади. Бу эса ўз навбатида марказдан қочма куч ҳосил бўлишига олиб келади. Ушбу куч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар циклоннинг ички деворига улоқтириб ташланади, деворга урилиб кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида қурилма тубига қараб тўкилади. Циклоннинг пастки конуссимон қисмида газ оқими инерция кучи таъсирида спиралсимон ҳаракат йўналишини давом эттиради ва конус диаметри камайиб бориши сабабли юқорига қараб йўналган оқим пайдо бўлади. Бу оқим тозаланган газ бўлиб, марказий труба орқали циклондан ташқарига чиқиб кетади.

Циклонларнинг аниқ ҳисоби жуда мураккаб бўлгани учун гидравлик қаршилик Δp параметри бўйича соддалаштирилган ҳисоблар қилинади.

Циклоннинг цилиндрик қисмидаги газнинг сохта тезлиги w_ϕ (м/с) қуйидаги формула ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$w_\phi = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_z \cdot \xi}} \quad (411)$$

бу ерда $\Delta p/\rho_z$ - ажратиш фактори; ξ - гидравлик қаршилик коэффиценти.

128-расм келтирилган циклонлар учун $\Delta p/\xi = 500...700 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

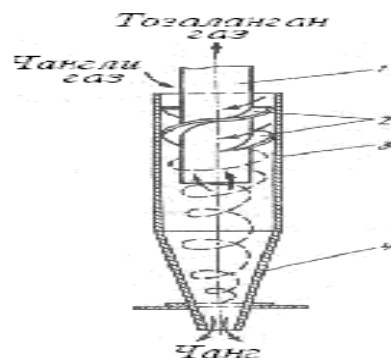
Циклон диаметри D (м) ушбу формуладан топилади:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi \cdot w_\phi}} \quad (412)$$

Циклоннинг цилиндрик қисми диаметри D аниқлангандан сўнг, қолган ўлчамлари ҳисобланади, чунки ҳамма ўлчамлар циклон диаметри D нинг функциясидир.

Газларни тозалаш даражасини ошириш учун циклон диаметрини камайитириш ёки газ оқими тезлигини ошириш зарур.

НИИОГаз циклонда газсимон турли жинсли системаларни тозалаш даражаси 30...85% га тенг. Лекин, газ таркибидаги заррачалар ўлчами ортиши билан газларнинг тозаланиш даражаси 90..95% гача ўсиши мумкин.



129-расм. Батарейли циклон элементи. 1 - марказий чиқиш трубаси; 2 – винтли парраклар; 3 - қобиқ; 4 - конуссимон туб.

Батарейли циклон бир қанча параллел уланган кичик диаметрли (150...250мм) циклонлардан ташкил топган (129-расм). Циклон элементлари диаметрининг кичиклиги, марказдан қочма куч ва чўкиш тезлигини ошириш имконини беради. Кичик ўлчамли циклонлар қурилмадаги иккита тўсиқга маҳкамланади.

Қурилмага кириш патрубкеси орқали юборилган чанг газ тақсимлаш камерасига киради ва у ердан барча циклон элементларга бир хилда тарқалади. Сўнг, элементларга газ тангенциал йўналишда эмас, балки уларнинг тепасидан циклон қобиғи ва марказий чиқиш трубаси орасидаги халқасимон бўшлиққа юборилади. Ушбу халқасимон бўшлиқда оқимга спиралсимон айланма ҳаракат йўналишини таъминлаш учун у ерга винтли парраклар ўрнатилади (129-расм).

Циклон элементларидан ўтиб тозаланган газлар марказий труба 1 орқали умумий камерага йиғилади ва чиқиш штуцерида ташқарига узатилади.

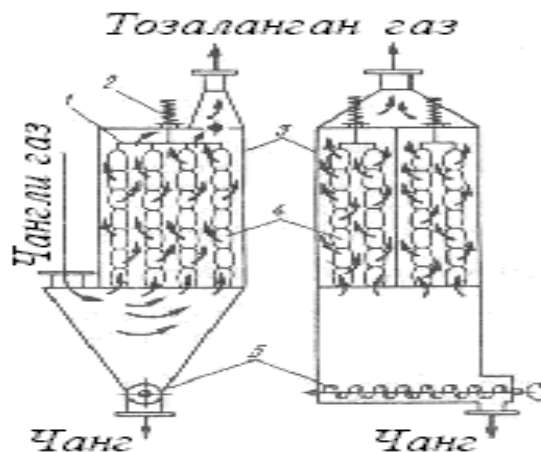
Хамма циклон элементларида ушланиб қолинган қаттиқ заррачалар батарейли циклоннинг пастки қисми 5 да тўпланади ва ундан сўнг ташқарига тўкилади.

Агар бир нечта катта циклонларни иқтисодий жихатдан қўллаш мақсадга мувофиқ бўлмаса, газлар сарфи катта жараёнларда батарейли циклонлар ишлатилади. Циклонларда ўлчами 10 мкм ва ундан кам бўлган қаттиқ заррачаларни чўктириш тавсия этилади. Батарейли циклонларнинг тозалаш даражаси 65...85% ($d = 5$ мкм ли заррачалар учун), 85...90% ($d = 10$ мкм ли заррачалар учун) ва 90...95% ($d = 20$ мкм заррачалар учун).

Газларни ғовакли тўсиқларда тозалаш

Фильтрловчи тўсиқ турига қараб эгилувчан, ярим қаттиқ, қаттиқ ғовак тўсиқли ва донадор қатламли фильтрлар бўлади.

Юмшоқ фильтрловчи тўсиқли фильтрларга энгли ёки қоғозли фильтрлар киради ва улар газларни тозалаш учун кенг миқёсда қўлланилади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида табиий, синтетик ва минерал толалар (тўқима материаллар), ғовак листли материаллар (ғовакли резина, пенополиуретан) ва металл тўқималар ишлатилади.



130-рasm. Енгли филтър.

1 - ром; 2 – силкитувчи механизм; 3 - кобиқ; 4 - енг; 5 - шнек.

Батарейли енгли филтър. Бу турдаги қурилмаларнинг филтърловчи элементи тўқима материалдан ясалади (130-рasm). Филтърловчи енг ва қоплар 4 тўртбурчак шаклидаги қобиқ 3 нинг умумий роми 1 га осилиб қўйилади. Пастдан юқорига қараб ҳаракат қилаётган чангли газ филтърловчи енглари нинг учидаги очик тешиқдан ичига киради. Сўнг, цилиндр енглари нинг ён томон юзасидан ўтаётганида газ тозаланиб чиқиб кетади, қаттиқ заррачалар эса енгнинг ички деворида ушланиб қолади.

Фойдаланиш жараёнида чанг қатлами ортиб боради ва филтърнинг қаршилиги катталашади. Филтър енглари ни қайта тиклаш учун вақти – вақти билан механизм 2 ёрдамида силкитиб туриш зарур. Шунда, енглари юзасида ўтириб қолган чанглари тўкилади ва шнек 5 ёрдамида ташқарига чиқарилади. Баъзи бир ҳолларда енглари ни қайта тиклаш учун филтър элементлари сиқилган ҳаво ёки газ ёрдамида қарама - қарши йўналишда пуфлаб тозаланади. Баъзи ҳолларда секцияли филтърлари ҳам ишлатилади. Бунда ҳар секция ўзининг силкитувчи механизмига эга бўлади. Бу эса, филтър секциялари ни кетма - кет тозалаш имкони ни беради, яъни филтър қурилма ни тўхтатмасдан филтър элементлари ни қайта тиклаш жараёни ни амалга оширса бўлади.

Узлуксиз ишлайдиган енгли филтърлари нинг филтърлаш тезлиги $0,007...0,017 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ га тенг. Лекин, филтърловчи тўқималари узлуксиз равишда қайта тикланиши туфайли филтърлаш тезлиги $0,05...0,08 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ гача ортади.

Энг кенг тарқалган енгил филтърлари нинг гидравлик қаршилиги $1,5...2,5 \text{ кН/м}^2$ ($150...250 \text{ мм. сув уст.}$).

Агар енгли филтърлари дан тўғри фойдаланилса, газлари ни майин, дисперс чанглари дан тозалаш даражаси $98...99\%$ ни ташкил этади.

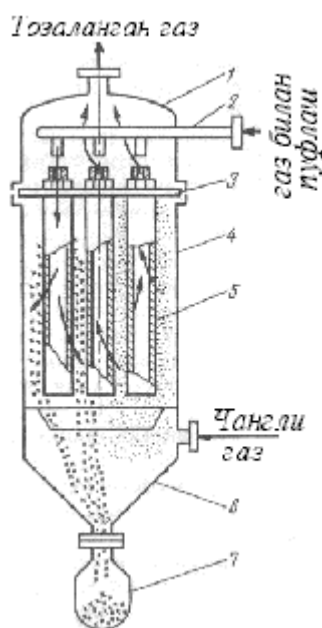
Енглари табиий, синтетик ва минерал материаллари дан тайёрланади. Масалан, 80°C дан паст температуралари да пахта, бўздан, 110°C дан паст температуралари да жундан, $130...140^\circ\text{C}$ да полиамид, полиэтилен, полиакрилнитрил толалари дан, 275°C гача политетрафторэтилен ва фторопластдан, 400°C гача шиша толалари дан ясалган филтърловчи енглари ишлатилади.

Камчиликлари: енглар тез ишдан чиқади ва каналлари тўлиб қолади; юқори температурали ва нам газларни тозалаш мумкин эмас.

Ярим қаттиқ, фильтрловчи тўсиқли фильтрлар кассеталардан таркиб топган бўлади. Газ таркибидаги қаттиқ заррачаларни ушлаб қолиш учун кассетада иккита тўр орасида шиша толалар, металл қиринди ёки бошқа материаллар қатлами жойлаштирилган бўлади.

Секцияларга бириктирилган кассеталар паст концентрацияли $0,001...0,005 \text{ г/м}^3$ чангларни тозалаш учун мўлжалланган.

Қаттиқ фильтрловчи тўсиқли фильтрлар одатда чангли газларни майин тозалаш учун ишлатилади. Фильтрловчи тўсиқлар ғовакли керамика, прессланган ёки қиздириб бириктирилган кукунлар, ҳамда пластмассалардан ясалиши мумкин.



131-расм. Патронли фильтр.

- 1 - қопқоқ; 2 - коллектор; 3 - труба панжараси; 4 - қобик;
5 - фильтрловчи элемент; 6 - туб; 7 - чанг йиғич.

Цилиндрик фильтрловчи элементли, патронли фильтрлар. Температураси юқори бўлган чангли газларни тозалаш учун қўлланилади. Бу қурилмаларнинг фильтрловчи элементи ғовакли қилиб металлокерамикадан ясалади ва улар патронлар деб номланади (131-расм). Фильтрловчи элементлар цилиндрик халқасимон ёки текис шаклда бўлиши мумкин.

Чанг фильтрловчи элементдан ўтиб, тозаланган газ қурилманинг юқори қисмидаги штуцердан чиқиб кетади. Чанглар эса фильтрловчи патроннинг ташқи юзаси ва ғовакларида ушланиб қолади. Патронлар ташқи юзаси ва ғоваклари чанг билан тўлиб қолса, жараён тезлиги кескин равишда пасаяди.

Шунинг учун улар сиқилган газ ёки хаво ёрдамида пуфлаб қайта тикланади. Ундан кейин, яна қайтадан газни тозалаш жараёни давом эттирилади.

Қайта тиклаш пайтида патрондан пуфлаб чиқарилган чанглар конуссимон туб 6 дан чанг йиғич 7 га тўкилади.

Металлокерамик фильтр элементли фильтрларда заррачаларнинг ўлчами 5 мкм дан юқори бўлган чангли газларни тозалаш мумкин.

Патронли фильтрловчи элементлар қаттиқлиги, юқори механик мустаҳкамлиги, кимёвий ва температуранинг кескин тебранишларига чидамлилиги билан ажралиб туради. Шунинг учун ҳам, ушбу фильтрловчи элементлар кимёвий агрессив ва иссиқ чангларни тозалаш учун ишлатилади.

Газларни тозалаш фильтрларнинг хисобини ўтказишдан мақсад, унинг умумий фильтрлаш юзасини аниқлашдир, яъни

$$F = \frac{V}{V_{\text{сол}}} \quad (413)$$

бу ерда V - чангли газнинг хажмий сарфи, $\text{м}^3/\text{с}$; $V_{\text{сол}}$ - фильтрларнинг солиштирма

тезлиги, $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$;

Фильтрловчи элементлар сони эса, ушбу тенгликдан топилади:

$$n = F(\pi dl) \quad (414)$$

бу ерда d ва l - енгнинг диаметри ва узунлиги.

Донадор қатламли фильтрлар. Бундай фильтрларда даврий, қўзғалмас ёки узлуксиз ҳаракатдаги фильтрловчи қатлам сифатида майдаланган кокс, кварц қум, шлак, шағал ва бошқа материаллар қўлланиши мумкин.

Фильтрловчи қатлам панжара ёки тўр орасидаги секцияда, горизонтал ёки вертикал ҳолатда ўрнатилиши мумкин.

131-расмда узлуксиз ишлайдиган қумли фильтр конструкцияси келтирилган. Бу турдаги фильтрлар газларни майин тозалаш учун қўлланилади. Масалан, сиқилган газларни мойлардан, қорақуддан ва синтез газларини чангдан тозалаш учун ишлатилиши мумкин.

Газларни суюқлик билан ювиб тозалаш

Чангли газларни тозалаш учун уларни сув ёки бошқа суюқликлар ёрдамида ювиб, қаттиқ заррачалардан тозаланади. Бу усул газларни совитиш ва намлаш рухсат этилган, ҳамда қаттиқ заррачалар қиммати бўлмаган ҳолларда қўлланилади. Маълумки, газлар совутилганда сув буғлари конденсацияланиб, заррачалар намланади ва уларнинг зичлиги ортади. Натижада қаттиқ заррачалар газдан осон ажралади. Бунда, заррачалар конденсацияланиш марказлари вазифасини бажаради. Агар, заррачалар суюқлик билан ҳўлланмаса, унда бу турдаги қурилмаларда газларни тозалаш самарасиздир. Бундай ҳолларда газларни тозалаш даражасини ошириш учун суюқлик таркибига спирт – сиртий фаол моддалар қўшилади, яъни суюқликнинг ҳўллаш қобилияти оширилади.

Суюқлик билан ювиб тозаловчи қурилмаларда, уларнинг конструкциясига қараб, газларни тозалаш даражаси 60 дан 85% гача бўлади. Бу турдаги қурилмаларнинг асосий камчилиги шундаки, тозалаш жараёни ўтказилиши натижасида оқава сувлар ҳосил бўлишидир. Маълумки, оқава сувлар ҳам ўз навбатида тозаланиши керак.

Скрубберлар ичи бўш ёки насадкали, кўндаланг кесим юзасига қараб эса, цилиндрсимон ёки тўғри тўртбурчак шаклдаги колонналар кўринишида бўлади.

Ичи бўш скрубберларга чангли газ қурилманинг пастки қисмидан 0,8...1,0 м/с тезликда киритилади. Газ ўз йўналишини ўзгартириб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Скруббернинг тепа қисмидаги пуркагичдан сув ёки бошқа суюқлик сочилиб, оғирлик кучи таъсирида майда томчилар пастга қараб йўналади. Натижада газ ва сув томчилари қарама - қарши йўлли ҳаракатида бир - бирига кўп марта урилади. Бу ўзаро таъсир туфайли газ таркибидаги қаттиқ заррачалар суюқлик билан ювилади, оғирлашади ва оқава сув ҳосил қилиб, пастга тушади. Тозаланган газ скруббернинг тепа қисмидаги штуцердан чиқиб кетади. Оқава сув қурилманинг тубидаги штуцер орқали тозалашга чиқариб юборилади.

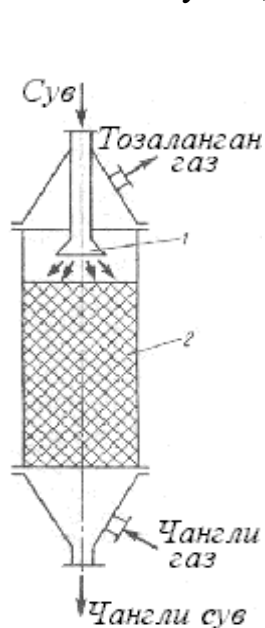
Ичи бўш скрубберда газларнинг тозаланиш даражаси 60...75% ни ташкил этади. Насадкали скрубберларда қобиғнинг ичига насадкалар маълум бир тартибда ёки тартибсиз ўрнатилади (3.34а-расм).

Тозалаш жараёни интенсивлиги ва тезлигини ошириш учун скрубберларга албатта насадкалар жойлаштирилади. Насадкалар қўлланилиши натижасида газ ва

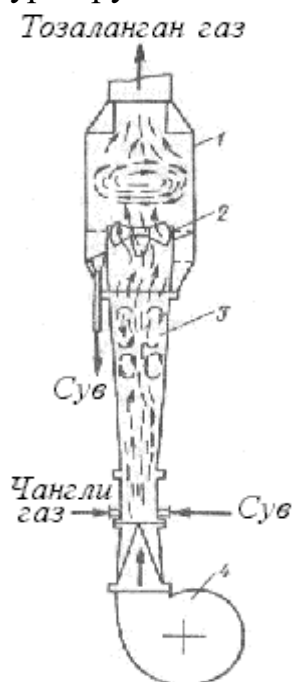
суюқ фазалар ўртасида уринишлар ортади, яъни тўқнашув юзаси ошади. Одатда скрубберларга халқасимон ёки хордали насадкалар ўрнатилади. Айрим ҳолларда эса, кокс ёки кварц бўлакларидан ҳосил қилинган қатлам, насадка сифатида ишлатилиши мумкин. Насадкали скрубберларда газларнинг тозаланиш даражаси 75...85%.

Вентури скрубберлари. Бу турдаги скруббер икки қисмдан (132-расм): Вентури труба 3 ва ажраткич 1 дан таркиб топган бўлади. Вентури труба 3 да газ тозаланса, ажраткич 1 да эса - сув томчилари газ оқимидан ажратилади.

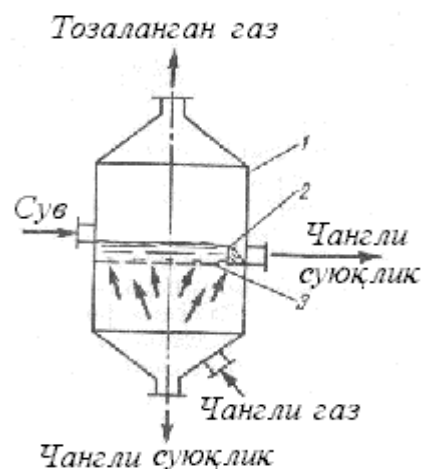
Тозаланиши зарур бўлган газ, қурилманинг паски қисмидан патрубккага узатилади. Маълумки, Вентури труба 3нинг диффузор қисмида конуслик ортиб



132а-расм. Насадкали скруббер.
1 - пуркагич; 2 - насадка.



133б-расм. Вентури скруббери.
1 - ажраткич; 2 - оқимни уюмалантирувчи мослама; 3 - Вентури труба; 4-вентилятор.



134-расм. Кўпикли скруббер.
1 -қобик; 2 - ростловчи остона;3 - тешикли тарелка

боради. Бу эса, диффузорда босим камайишига, яъни вакуум ҳосил бўлишига олиб келади. Ушбу вакуум ҳисобига идишдан коллектор орқали Вентури труба 3га сув сўриб олинади. Суюқ фаза газ билан тўқнашиши натижасида майда томчиларга (~10 мкм) ажралиб кетади. Газ ва майда томчиларнинг ўзаро урилиши пайтида суюқлик томчилари қаттиқ заррачаларни ўзига тортиб олади ва йириклашади. Сўнг эса, ушбу томчилар газ оқими билан бирга диффузор орқали ўтади ва натижада тезлиги пасаяди. Газ оқимини суюқлик заррачаларидан ажратиш учун уюмалантирувчи мослама хизмат қилади. Ажраткичда ажратиб олинган суюқлик йиғичга оқиб тушади. Тозаланган газ эса, скруббернинг тепа қисмидаги патрубкдан атмосферага чиқариб юборилади.

Вентури скрубберида газларнинг тозаланиш даражаси 98...99%, тузилиши содда ва механик ҳаракатланувчи қисмлари йўқ.

Камчиликлари: гидравлик қаршиликлари катта (1500...7500 Па) ва қурилмага қўшимча томчи ушлагич билан жихозланиши лозим.

Вентури скрубберида газларнинг тозаланиш даражаси 98...99%, тузилиши

содда ва механик ҳаракатланувчи қисмлари йўқ.

Камчиликлари: гидравлик қаршиликлари катта (1500...7500 Па) ва қурилмага қўшимча томчи ушлагич билан жихозланиши лозим.

Вентури скрубберида газларнинг тозаланиш даражаси 98...99%, тузилиши содда ва механик ҳаракатланувчи қисмлари йўқ.

Камчиликлари: гидравлик қаршиликлари катта (1500...7500 Па) ва қурилмага қўшимча томчи ушлагич билан жихозланиши лозим.

Кўпикли (барботажли) чанг ушлагичлар таркибида, каттиқ заррачалар кўп ва жуда катта ҳажмдаги чангли газларни тозалаш учун мўлжалланган (134-расм).

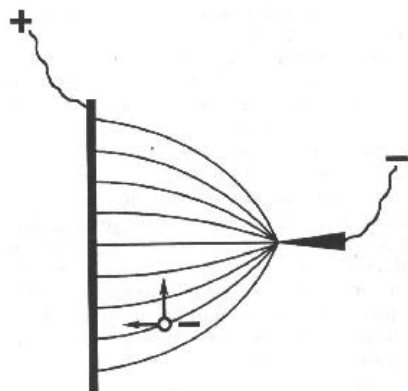
Кўпикли (барботажли) чанг ушлагичлар тарелкали скруббер кўринишида бўлади. Чангли газ қурилманинг пастки қисмидаги штуцер орқали юборилади ва у тепага қараб ҳаракат қилади. Қурилма цилиндрик қобик 1 нинг ўртасида жойлашган штуцер орқали ювувчи сув (ёки суюқлик) тешикли тарелка устига юборилади. Пастдан келаётган чангли газ оқими суюқликни барботаж қилади ва натижада ҳаракатчан кўпикли қатлам ҳосил бўлади. «Газ – суюқлик» аралашмасидан иборат кўпикларда тўқнашув ёки урилиш юзаси катта ва заррачани илинтириш имконияти юқори. Шунинг учун ҳам, кўпикли чанг ушлагичларда чангли газларнинг тозаланиш даражаси юқори. Газнинг тозаланиш даражасига қараб қурилмадаги тешикли тарелкалар сони аниқланади.

Кўпикли қатламда чангнинг асосий миқдори (~80%) суюқлик билан ушланади ва кўпик билан бирга ростловчи остона 2 орқали чиқарилади. Суюқликнинг қолган қисми (~20%) тарелка тешиклари орқали пастга оқиб тушади ва унинг остидаги бўшлиқда чангли газ таркибидаги йирик заррачаларни ушлаб, пастга олиб кетади. Ҳосил бўлган оқава сув конуссимон тубдаги штуцер орқали чиқарилади. Кўпикли қурилмаларда газларнинг тозаланиш даражаси 95...99% ва ундан юқори бўлади. Қурилманинг тузилиши содда ва ихчам, ҳамда кам капитал ва эксплуатацион сарфлар талаб этади.

14-Мавзу: Электр майдон таъсирида газларни тозалаш

Жараённинг физик асослари. 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 ходисалар 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 ходисалари 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 қутбга 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 тўқнашиб, уларга ўз зарядини ўтказди ва чўктирувчи электрод томон олиб кетади. Натижада чанг ёки туман заррачалари шу электродда чўқади. 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 тўқнашиши эҳтимоли катта. Фақат "тожли" электрод атрофидаги мусбат зарядланган ионлар билан тўқнашганда, чанг ёки туман заррачаларининг кичик бир қисми "тожли" электродда чўқади. Манфий зарядланган ионлар, чанг ёки туман заррачалари чўктирувчи электродга етганда, унга ўз зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади. Бундай чўктириш жараёни электрофилтлда олиб борилади.

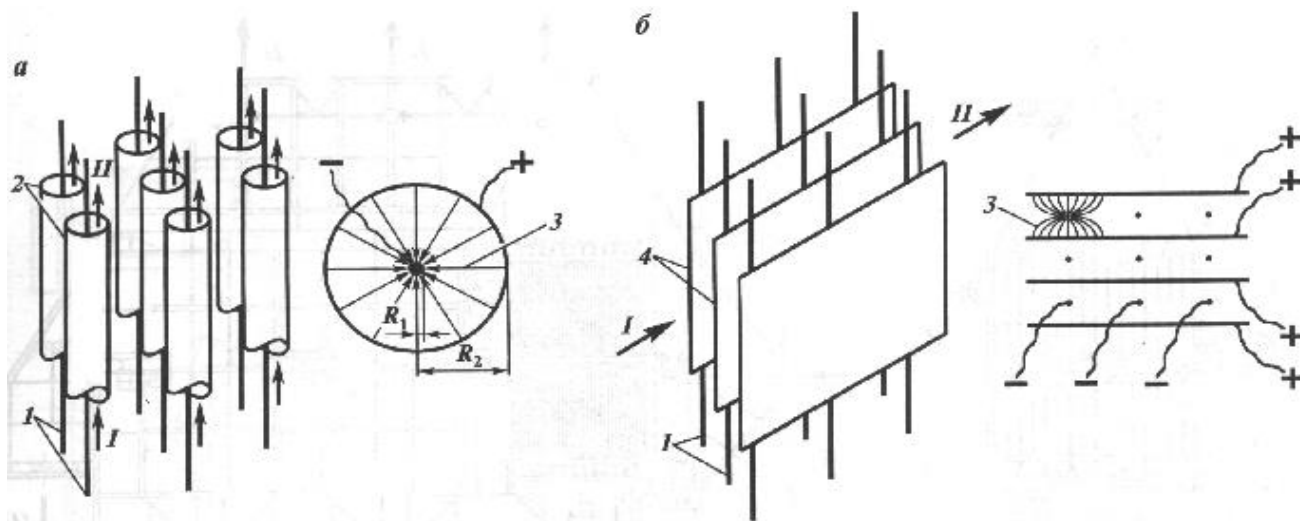
Электродларга ўтириб қолган чанг заррачаларининг зарарли таъсирини камайтириш мақсадида, вақти-вақти билан электродларга ўтириб қолган заррачалар силкитиб туширилади ёки электрофилтрга киритилишдан аввал чангли газ намланади (ўтказувчанлигини ошириш учун). Лекин, газнинг температураси шудринг нуқтасидан пасайиб кетиши мумкин эмас.

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдони таъсирида тозалаш, бошқа усулларга қараганда кўпгина афзалликларга эга. Чўктириш қурилмаларида, яъни циклон, енгли филтър, скрубберларда оғирлик ва марказдан қочма куч таъсирида майда заррачаларни ажратиш бўлмайди.

Турли жинсли газ аралашмаларини электр майдон таъсирида ажратиш электродларда амалга оширилади. Чанг ва тутунларни тозалаш учун курук, туманларни тозалаш учун эса - хўл электрофилтрлар қўлланилади.

Одий электрофилтр - 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 хар 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



Трубали (а) ва пластинали (б) электродлар.

1-«стожи» электрод; 2-чўктирувчи трубали электрод; 3-куч йўналишлари; 4-чўктирувчи, пластинали электрод. I-чангли газ; II-тозаланган газ.

мА ток зичлигини таъминлайди.

Газли аралашма трубали-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 тўқнашуви 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 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.

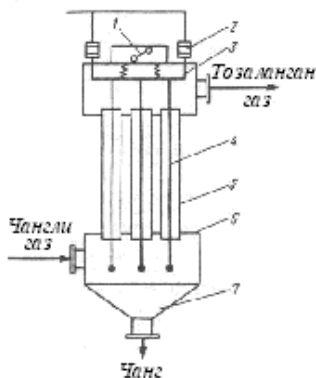
Электр майдон таъсирида заррачанинг чўкиш тезлиги ушбу тенгламадан аниқланади:

$$w_q = \frac{ne_0 E_x}{3\pi d\mu} \quad (415)$$

Заррачанинг чўкиш давомийлиги:

$$\tau_q = \int_r^R \frac{d_x}{w_q} \quad (416)$$

бу ерда: R - катод ўқидан анод ўқигача бўлган масофа; r - катод радиуси.



135-расм. Трубали электрофильтр.
1 - силкитувчи мослама; 2 - изолятор;
3 - ром; 4 - "тож" мосил 3илувчи электрод;
5 - трубали электрод - анод; 6 - тешикли панжара; 7 - чанг йиғич.

Электр майдон потенциали градиенти E_x катодгача бўлган масофа x га боғлиқ. Шунинг учун, заррачаларнинг чўкиш вақти (3.73) тенгламани график интеграллаш усули билан аниқланади.

Трубали электрофильтрлар. Чанг ва тутун газлари қурилманинг пастки қисми бўлмиш электродлар маҳкамланган тешикли панжара (6) тагига узатилади ва трубали электрод (анод)лар ичига тақсимланади (135-расм).

Трубали электродлар ичига "тож" хосил қилувчи электродлар-катодлар ўрнатилган.

Электродлар изоляторга таяниб турувчи умумий ромда маҳкамланади. Электр майдони таъсирида газ таркибидаги заррачалар чўкади. Анодга чўкиб, қатлам хосил 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.

Ўзирги 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 хосил бўлиб, филтрдан 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 хосил 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 электрофилтрдан олдин қўшимча газ филтрлар ўрнатилади.

Пластинали электрофилтр электродларига чўкган чанглار трубали филтрникидан осонроқ тозаланади ва сим узунлиги бирлигига камроқ энергия ишлатади. Ундан ташқари, бу филтрлар ихчам, кам металл сарфлайди ва йиғилиши осон.

Агар, электродлар сони ва қурилманинг қўндаланг кесими маълум бўлса, электрофилтрларни ҳисоблаш унинг "тожли" электродининг узунлигини аниқлашдан иборат бўлади.

Электрофилтрдаги ток миқдори $I = iL$ га тенг бўлиб, бу ерда i - ток зичлиги; L - электрод узунлиги.

Ўйида келтирилган тенгламадан потенциалнинг критик градиенти топилади:

$$E_k = 31 + 9,54 \sqrt{\frac{\sigma}{r}} \quad (417)$$

бу ерда: σ - 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:

$$\eta_s = 1 - \frac{x_2}{x_1} = 1 - e^{-wf} \quad (418)$$

бу ерда: x_1 ва x_2 - электрофилтрларга кираётган ва ундан чиқаётган газларда қаттиқ заррачалар концентрацияси, кг/м³; w - электрод юзасига қараб ҳаракат қилаётган зарядланган заррача тезлиги, м/с; f - солиштирма чўкиш юзаси, м²/(м³/с).

Трубали электрофилтрлар учун:

$$f = \frac{2l}{rw} \quad (419)$$

Пластинали электрофилтрлар учун:

$$f = \frac{l}{hw} \quad (40)$$

бу ерда: l - труба ёки пластина узунлиги, м; r - чўктириш электроди трубасининг радиуси, м; h - чўктирувчи ва «тожли» электродлар орасидаги масофа, м; w - электрофилтрларда газнинг тезлиги, м/с.

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, каттиқ заррачаларда сув буғларини конденсациялаш. Бунинг учун, иссиқ газ оқимиға ўта майда совуқ сув томчиларини пуркаш, совуқ газ оқимиға совуқ сув сочиш каби йўллар билан эришиш мумкин.

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 хоказо.

Ўйидаги 3-2 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 электрофильтр ва энгли филтрларда тўлиқ тозалаш мақсадида ишлатилади. Ундан ташқари, бундай дағал тозалаш вентилятор парракларини емирилишдан сақлайди.

Циклон ва батареяли циклонларни юқори концентрацияли газларни тозалаш учун, батареяли циклонларни газсимон турли жинсли системаларнинг сарфи катта бўлганда қўллаш тавсия этилади.

3-2 жадвал

Қурилма	Газдаги чангнинг максимал миқдори, кг/м ³	Айрим заррачалар ўлчами, мкм	Тозаланиш даражаси, %	Гидравлик қаршилик, Н/м ²
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
Электрофильтр	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 филтърлардан фойдаланилади. Лекин, бу филтърларни ёпишқоқ ва нам чангларни тозалаш учун ишлатиб бўлмайди.

Майда дисперс чангли газларни тўлиқ тозалаш учун скруббер, кўпикли чанг ушлагич ва электрофилтърлар қўлланилади. Тозаланаётган газ совитилиши ва намланиши рухсат этилган, ҳамда ажратилаётган заррачалар қимматбаҳо махсулот бўлган ҳолларда, скруббер ва кўпикли чанг ушлагичлар қўлланиши мақсадга мувофиқдир. Бу қурилмалар содда, нархи ва эксплуатацион сарфлари электрофилтърникидан анча кам.

Лекин, ушбу усулда чангли газларни ажратиш жараёнида жуда кўп сув сарф бўлади. Шу сабабли, қурилма коррозиясининг тезлиги юқоридир. Агар, дисперс заррачалар атроф мухитни ифлослантириш хавфи бўлган ҳолларда, уларни суяқ фазадан ажратиб олиш учун кўшимча қурилма талаб этилади.

Электр майдон таъсирида чангли газларни тозалаш юқори кўрсаткичларга эришиш имконини беради. Электрофилтърларнинг гидравлик қаршилиги кичик ва энергия сарфи кам бўлади. Соатига 1000 м³ газни тозалаш учун 0,2...0,3 кВт·соат электр энергия сарфланади. Қуруқ газларни тозалаш учун кўпинча пластинали, туман ва қийин ушланадиган чангларни тозалаш учун эса - трубади электрофилтърлар ишлатилади. Бу турдаги қурилмалар қиммат туради ва эксплуатация қилиш анча мураккабдир. Ундан ташқари, газ таркибидаги заррачалар солиштирма электр қаршилиги кичик бўлса, электрофилтърларни қўллаш етарли самара бермайди.

Газсимон турли жинсли системаларни тозалаш қурилмаларининг тахлили шуни кўрсатадики, улар самарадорлигининг ортиши одатда энергетик сарф ва қурилма ўлчамларининг ўсиши билан боғлиқ. Масалан, энгли ва электр филтърлар 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.

15-Мавзу: Аралаштириш Умумий тушунчалар

Суспензия ва эмульсиялар ҳосил қилиш учун суяқлик мухитларида аралаштириш жараёни қўлланилади. Пластик ва сочиловчан материалларни қориштиришдан мақсад, таркибида қаттиқ, суяқ ва пластик кўшимча моддали, бир жинсли асосий масса олишдир.

Аралаштириш пайтида иссиқлик, масса ва биокимёвий жараёнлар интенсивлашади. Аралаштириш жараёнини амалга ошириш учун турли усуллар ва аралаштиргич конструкциялари қўлланилади.

Аралаштириш сифати фазаларни қориштириш даражаси билан характерланади.

Аралаштириш қурилмасининг бутун хажмидаги фазаларни қориштириш даражаси I қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланиши мумкин:

$$I = 1 - \frac{\sum_1^m \frac{\Delta x'}{100 - x_{ap}} + \sum_1^n \frac{\Delta x''}{x_{ap}}}{m + n} \quad (218)$$

бу ерда m – таҳлил учун олинган намуна, $\Delta x > 0$; $\Delta x'$ - аралаштиргичдаги мусбат концентрациялар фарқи ва у ушбу формуладан топилади $\Delta x' = x - x_{ap}$; x_{ap} - идеал қориштиришда аралашмадаги заррачалар концентрацияси бўлиб, у қуйидаги формуладан аниқланади:

$$x_{ap} = \frac{100V_k \cdot \rho_k}{V_c \rho_c + V_k \rho_k}$$

бу ерда V_k - асосий массада (суюқликда) тақсимланган қаттиқ заррачалар хажми; ρ_k, ρ_c - аралашмадаги қаттиқ заррача ва суюқлик зичликлари; V_c - суюқлик хажми; n – таҳлил учун олинган намуналар сони, $\Delta x'' < 0$; $\Delta x''$ - манфий концентрациялар фарқи, $\Delta x'' = x - x_0$ формуладан ҳисоблаб топилади.

Фазаларни қориштириш даражаси 0 дан 1 гача ўзгариши мумкин. Агар, компонентлар идеал қориштирилса, $I = 1$ га тенг бўлади.

Суюқликни аралаштириш усуллари

Суюқликларни аралаштириш пневматик, циркуляцияли, статик ва механик усулларида олиб борилади.

Пневматик аралаштириш учун сиқилган газ (қўпинча сиқилган ҳаво) суюқлик қатлами орқали ўтказиш йўли билан амалга оширилади. Суюқлик қатламида газни бир текисда тақсимлаш учун барботер ишлатилади. Барботернинг тешикчали трубалари аралаштиргич тубига ўрнатилади. Бу усул ўртача қовушоқликка (~200 Па·с) эга суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Жараён тезлиги паст ва энергия сарфи кўп бўлади.

Айрим ҳолларда аралаштиришни инжекторлар ёрдамида ҳам амалга оширилади. Сиқилган ҳаво ёрдамида аралаштириш учун эрлифт принципини ҳам қўлласа бўлади.

Аралаштиргичда суюқлик эркин юзаси бирлигидан вақт бирлигида ўтаётган газ миқдорида аралаштириш интенсивлиги деб аталади.

Саноатда қуйидаги газ сарфлари ишлатилади:

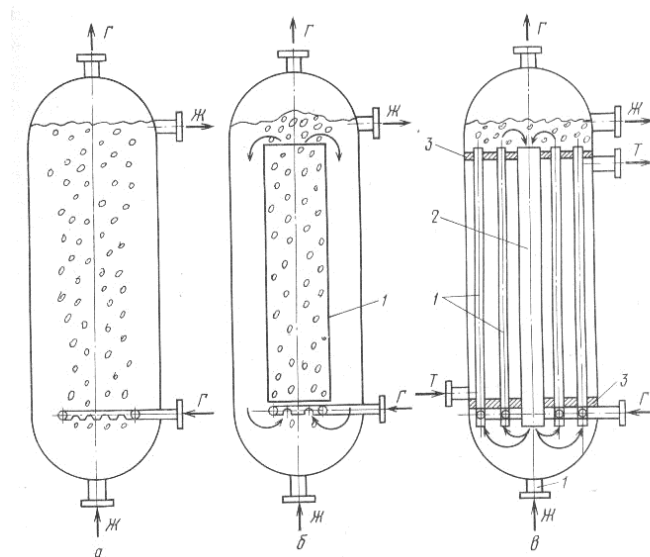
3-3 жадвал

т/р	Аралаштириш интенсивлиги	Газ сарфи, м ³ /(м ² ·мин)
1.	Паст	0,4
2.	Ўртача	0,8
3.	Юқори	1,2

Пневматик аралаштириш усулининг қўлланиши чекланган бўлади, чунки айрим ҳолларда зарарли жараёнлар, яъни оксидланиш ёки маҳсулотнинг буғланиши юз бериши мумкин. Шунинг учун, ушбу усул газ ва суюқ фазалар ўзаро

тўқнашуви рухсат этилган ҳолларда ишлатилиши мақсадга мувофиқдир.

95-расмда пневматик аралаштиргичларнинг айрим конструкциялари келтирилган.



95-расм. Сиқилган хаво ёрдамида аралаштириш.

а - марказий барботерли; б – газлифт (эрлифт) трубали; в - газлифт ва марказий циркуляция трубали қобик - трубали қурилма.

1 - газлифт трубалари; 2 - циркуляция трубаси; 3 -тешикли труба панжалари; с – суюқлик; г - газ; иэ - иссиқлик элткич

Агар, сиқилган хаво қурилманинг пастки қисмига юборилса, унда эрлифт ҳосил бўлади (95а-расм). Ҳаво қурилманинг қанчалик юқори қисмига узатилса, шунчалик сиқиш учун энергия сарфи кам бўлади. Шунинг учун, хавони баландлиги кам қатламларга юбориш керак, яъни пневматик аралаштириш учун диаметри катта, баландлиги кичик бўлган қурилмаларни қўллаш мақсадга мувофиқдир.

Пневматик аралаштириш жараёнини интенсивлаш учун қурилмаларда газлифт (эрлифт) трубалари ўрнатилади. Ушбу трубалар суюқликни кўп марта циркуляция қилишини таъминлайди (95б-расм). Бунинг учун, икки томони очиқ газлифт труба қурилма марказига жойлаштирилади. Сиқилган хаво газлифт трубаси ичига узатилади ва кўтарилувчи оқим қанчалик катта бўлса, аралаштириш шунчалик самарали бўлади.

Иссиқликни узатиш ва ажратиб олиш учун газлифт ва марказий циркуляция трубали қурилмалар яратилган (95в-расм).

Циркуляцияли аралаштириш, насос ёрдамида амалга оширилади. Бунда, «аралаштиргич – насос – аралаштиргич» ёпиқ системасида суюқлик узлуксиз айланиб юради.

Аралаштириш жараёнининг интенсивлиги, циркуляция қарралигига, яъни вақт бирлигида насос иш унумдорлигининг, қурилма ичидаги суюқлик ҳажми нисбатига боғлиқ. Айрим ҳолларда насослар ўрнига буғ инжекторлари қўлланиши ҳам мумкин.

Ундан ташқари, турли соҳаларда йўналтирувчи труба (диффузор) ли винтсимон аралаштиргичлар ҳам ишлатилади (95-расм).

Бу турдаги қурилмаларда ёпиқ циркуляцион контур ҳосил қилинади. Насос вазифасини одатда уч парракли винтсимон аралаштиргич бажаради. Шунинг учун, бундай аралаштиргичлар ҳисоби ўқли насослар ҳисобига ўхшашдир.

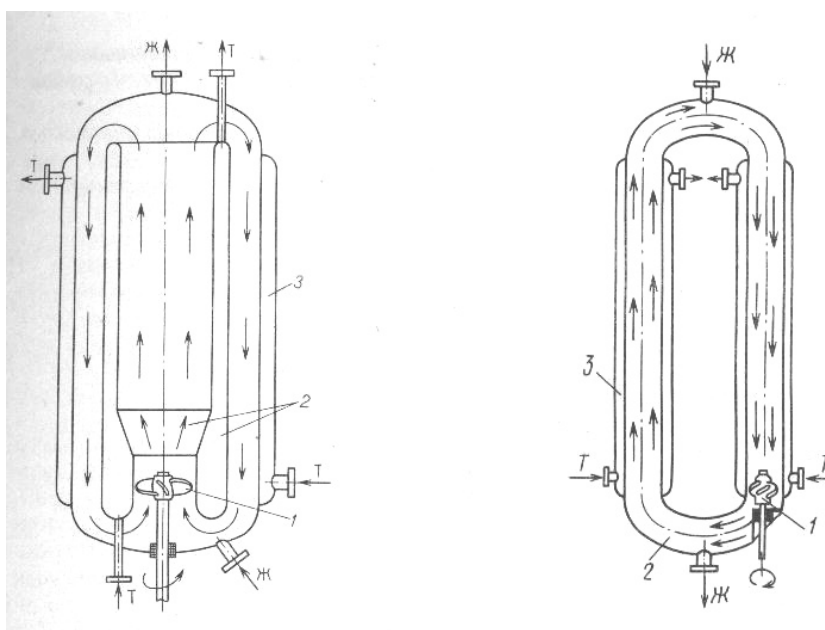
Статик аралаштириш. Қовушоқлиги ўртача суюқлик, ҳамда газ суюқлик билан аралаштириш бирорта фазанинг кинетик энергияси ҳисобига статик аралаштиргичларда олиб борилади (96-расм).

Одатда, статик аралаштиргичлар реакторгача бўлган труба қувурига ёки бевосита реакторнинг ўзига ўрнатилади.

96а-расмда газ ва суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган носимметрик, легирланган пўлат пластиналарни бураш йўли билан олинган ясама элементли аралаштиргич тасвирланган.

Ҳар бир элементнинг геометрик характеристикалари бураш бургачи ва йўналиши, ҳамда элемент диаметрининг узунлигига нисбати билан ифодаланади. Ўрнатилиши зарур бўлган элементлар сони суюқлик қовушоқлигига, ҳамда аралаштирилаётган суюқликлар қовушоқлиги нисбатига боғлиқдир. Агар, суюқлик ва фазалар ўртасидаги қовушоқликлар фарқи қанча катта бўлса, шунчалик кўп элементлар ўрнатилиши зарур.

96б-расмда ёғ - фосфатидли эмульсиясини ишлаб чиқариш учун мўлжалланган уюрмали эмульсор кўрсатилган. Босим 0,3...0,36 МПа бўлганда, уюрмали эмульсор юқори самарали эмульгация қилишни таъминлайди. Бу турдаги қурилмалар содда, тайёрланиши осон ва фойдаланишда қулай. Ишлаш принципи - марказдан қочма



96-расм. Диффузли ва винтсимон аралаштиргичли қурилма.

1 - винтсимон аралаштиргич; 2 - иссиқлик алмашиниш камерали диффузор; 3 - гилоф; иэ - иссиқлик элткич; с - аралаштирилаётган суюқлик.

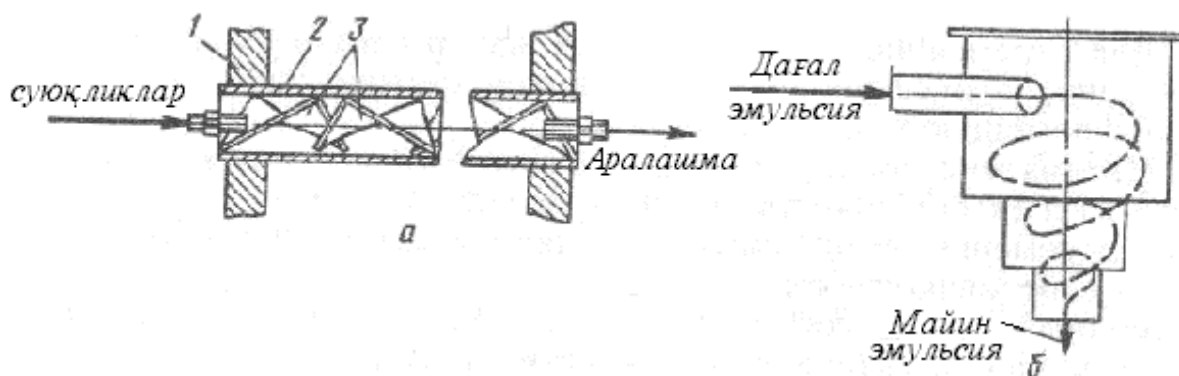
пуркагич эффектига асосланган. Олинган 3 мкм ўлчамли заррачалардан таркиб топган эмульсия 24 соат давомида ҳам қатламларга ажралмайди.

Механик аралаштириш «суюқлик - суюқлик», «газ - суюқлик» ва «газ-суюқлик - қаттиқ жисм» системали гидромеханик, иссиқлик ва масса, ҳамда биокимёвий жараёнларни интенсивлаш турли хил аралаштириш мослама

(аралаштиргич) лар ёрдамида амалга оширилади. Аралаштиргич, айланувчи ўқга ўрнатилган, турли хил парраклардан таркиб топган мослама.

Кимё ва озиқ - овқат саноатларида қўлланиладиган ҳамма аралаштириш мосламаларини 2 гуруҳга ажратса бўлади: биринчи гуруҳга парракли, турбинали ва пропеллерли; иккинчи гуруҳга - махсус - винтли, шнекли, лентали, ромли, якорли, пичоқли ва бошқа мосламалар киради. Биринчи гуруҳ суюқликлар учун бўлса, иккинчиси эса - пластик ва сочилувчан материалларни аралаштириш учун хизмат қилади.

Ишчи органининг айланиш частотасига қараб аралаштириш мосламалари секин ва тез юрар гуруҳларга бўлинади.

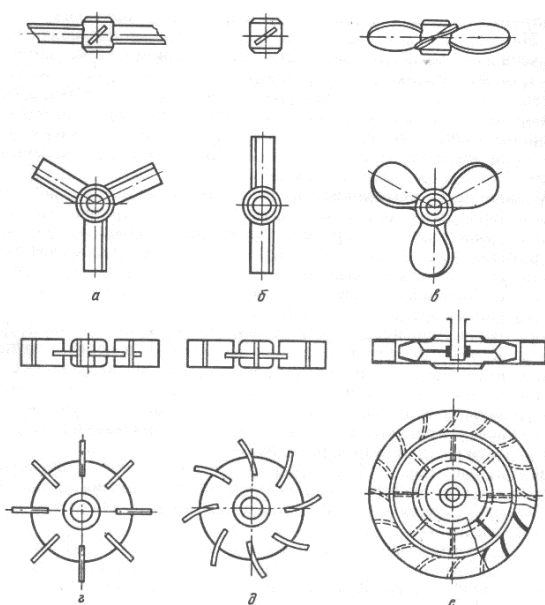


97-расм. Статик аралаштиргичлар.

а- цилиндрик, ясама элементли; б- эмульсор. 1- фланец; 2- кобик; 3- аралаштирувчи элемент.

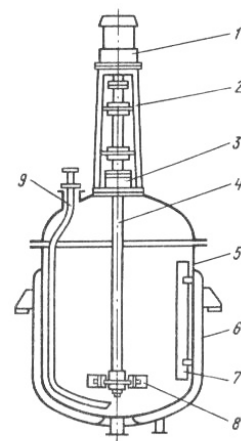
Парракли, лентали, якорли ва шнекли аралаштиргичлар секин юрар мосламалар қаторига киради (97а,б-расм). Уларнинг айланма частотаси 30...90 мин⁻¹, қовушоқ мухитларда паррак учидаги айланма тезлиги - 2...3 м/с.

Парракли аралаштиргичлар афзалликлари: мослама содда ва нархи қиммат



98-расм. Аралаштиргичлар турлари.

а - уч парракли; б - икки парракли; в - пропеллерли; г - турбинали очик; д - қия парракли, турбинали, очик, турбинали ёпик.



99-расм. Аралаштиргичли кориштиргич.

1 - узатма; 2 - узатма таянчи; 3 - зичлагич; 4 - ўқ; 5 - кобик; 6 - ғилоф; 7 - қайтарувчи тўсик; 8 - аралаштиргич; 9 - труба.

эмас.

Камчиликлари - айланиш ўқи бўйлаб суёқлик оқими кичик бўлади, натижада аралаштиргич хажмида суёқлик тўлиқ аралашмайди. ўқ бўйлаб суёқлик оқими ҳаракатини жадаллаштириш учун парраклар оғиш бурчаги 30° га тенг бўлиши керак.

Якорли аралаштиргичлар қурилма тубининг шаклига мос бўлади. Бу турдаги мосламалар қовушоқ ва ўта қовушоқ суёқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Якорли мосламалар ишлаш даврида қурилма девори ва тубини ёпишиб қолган ифлосликлардан тозалаш қобилиятига эга.

Шнекли аралаштиргичлар винтсимон шаклли бўлиб, қовушоқ суёқликларни қориштириш учун мўлжалланган.

Пропеллер ва турбинали аралаштиргичлар тез юрар мосламалар қаторига киради. Уларнинг айланиш частотаси $100...3000 \text{ мин}^{-1}$, айланма тезлиги $3...20 \text{ м/с}$.

Пропеллерли аралаштиргичлар 2 ёки 3 парракли қилиб ясалади (3.51в-расм). Ушбу мосламаларга насос эффекти хос бўлади ва суёқликнинг интенсив циркуляциясини ҳосил қилиш учун ишлатилади. Қовушоқлиги 2 Па·с бўлган суёқликларни аралаштириш учун қўллаш мумкин.

Турбинали аралаштиргичлар турбина ғилдираклари шаклида бўлиб, парраклари ясси, қия ва эгри чизикли бўлиши мумкин (98г,д,е-расм). Улар очиқ ва ёпиқ турли бўлади. Турбина ғилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучлар таъсирига асосланган. Ёпиқ аралаштиргич иккита дискдан иборат бўлиб, суёқлик ўтиши учун тешиги бор. ҳам радиал, ҳам турбина ўқи бўйлаб оқимлар ҳосил қилиш учун қия парракли, турбинали аралаштиргичлардан фойдаланилади. Турбинали мосламалар қурилманинг бутун хажмида суёқликни интенсив аралаштиради. Суёқликнинг айлана бўйлаб ҳаракатини камайтириш ва қурилмада ўрама ҳосил бўлишини бартараф қилиш учун цилиндрсимон қайтарувчи тўсиқлар ўрнатилади.

Турбинали аралаштиргичлар қовушоқлиги 500 Па·с гача бўлган суёқликларни ва дағал суспензияларни аралаштириш учун қўлланилади.

Қопқоқли қобиқ, узатма ва аралаштиргичлардан ташкил топган типик қориштиргич 99-расмда кўрсатилган.

Ишчи ғилдирак $200...2000 \text{ айл/мин}$ частота билан айланма ҳаракатланади. Турбина ғилдираги марказдан қочма куч таъсирида суёқликка тегишли энергия беради. Суёқлик аралаштиргич марказий тешигидан кириб, у ерда марказдан қочма куч таъсирида тезланиш олган ҳолда радиал йўналишида чиқиб кетади. Турбинада суёқлик вертикал йўналишдан горизонталга ўтади ва ундан катта тезликда чиқиб кетади. Бу турдаги қурилманинг самарадорлиги юқори.

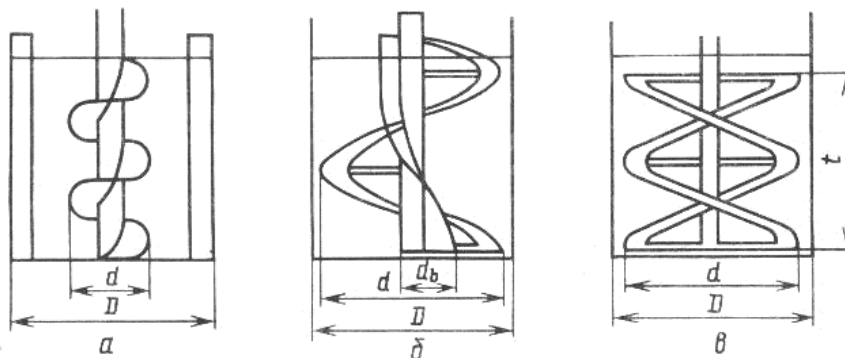
Турбинали аралаштиргич диаметри қурилма қобиғи диаметрининг $0,15...0,35$ улушини ташкил этади. Бу қурилмалар қовушоқлиги $1...700 \text{ Па·с}$ га тенг суёқликларни аралаштириш учун мўлжалланган.

Пластмассаларни аралаштириш

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, хаво 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



100-расм. Шнекли (а) ва лентали (б, в) аралаштиргичлар схемаси.

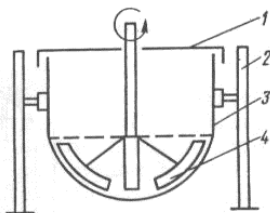
аралаштиргичлар вертикал ёки горизонтал ўқда ўрнатилади (100-расм).

Шнекли аралаштиргич истеъмол қилаётган қувватни аниқлаш учун ушбу тенглама қўлланиши мумкин:

$$Eu_m = \frac{71}{Re_m}$$

ёки

$$N = Ad_m \cdot n^2 \mu \quad (219)$$



101-расм. Хамир тайёрлаш қурилмаси.

1 - қопқоқ; 2 - таянч; 3 - қобик; 4 - қориштириш мосламаси.

бу ерда d_m - аралаштиргич диаметри; A - аралаштиргич мосламасининг геометрик нисбатлари функцияси сифатида топиладиган коэффицент.

Кам ва юқори қовушоқли қандолат махсулотлар (вафли, бисквит ва бошқа хамирлар) ни, ҳамда қандолат массаларини сочилувчан компонентлар (кекс хамирларини майиз, оксил 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.

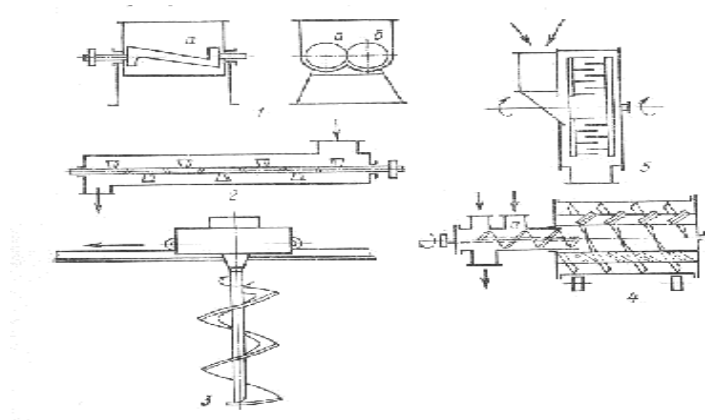
Қурилма туби шаклида ясалган, 90° бурчак остида ўрнатилган 4 парракли қориштириш мосламали аралаштиргичда ширинликлар хаамири тайёрланади (101-расм).

Аралаштиргичнинг айланиш частотаси 12 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 курилмалар 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 мавхум қайнаш қатламли аралаштиргичлар киради. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларга эса - барабанли, червяк - парракли, роторли ва бошқа турдаги аралаштиргичлар киради.



102-расм. Сочилувчан материаллар аралаштиргичларининг асосий турлари.

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. 102-расмда аралаштиргичларнинг асосий турлари келтирилган.

Парракли аралаштиргич қарама - қарши йўналишда айланадиган **z** - симон **m** ва **n** парраклардан таркиб топган.

Қурилмага узатилган материал паррактарнинг жадал таъсирида самарали қориштирилади. Шнекли қурилмаларда бир вақтнинг ўзида материаллар ҳам қориштирилади, ҳам маълум масофага узатилади (3.55 б-расм).

102 в-расм шнекли аралаштиргичнинг яна бир тури келтирилган бўлиб, унда бир қатор вертикал шнеklar ҳаракатчан ромларга ўрнатилган бўлади. Бундай курилмаларда айлантирувчи шнек ромлар аралаштирилаётган материал билан бирга силжийди.

Барабанли қурилмаларда аралаштириш жараёни барабанда амалга оширилади (103 г-расм).

Зарбали курилмаларда жараённинг интенсивлиги аралаштирилаётган материалга билаларнинг кўпдан – кўп уриниши натижасида ҳосил бўлади (3.55д-расм). Икки поғонали, марказдан қочма турбоқориштиргичнинг умумий кўриниши 3.56-расмда тасвирланган.

Бундай аралаштиргичлар кукунсимон, қовушок ва суюқ материалларни қориштириш учун қўлланилади. Курилманинг биринчи поғонаси аралашмани гомогенлаш учун, иккинчиси эса - уни совитиш учун хизмат қилади. Қориштиргич ичида уч парракли аралаштиргич ва пчоқлар комбинациясидан таркиб топган тез

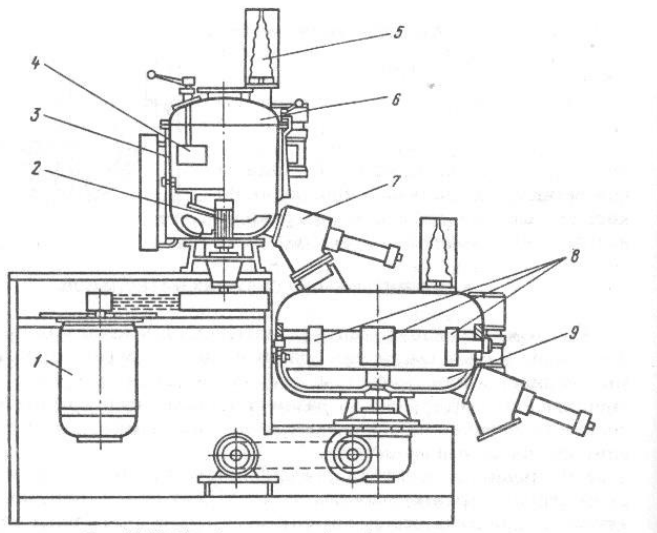
юрар ротор айланади (103-расм). Ротор айланиши пайтида сочиловчан материал қурилма деворига улоқтирилади ва юқорига қараб кўтарилади. Натижада заррачаларнинг циркуляцияли ҳаракат оқими барпо бўлади. Қурилма девори бўйлаб ҳосил бўлган кўтарилувчи оқим нам материални деворга ёпишишига ҳалақит беради. Қориштиргич конструкцияси ротор парракларини ўзини - ўзи тозалашини таъминлайди.

Сочиловчан 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 парракли ўқ жойлаштирилади. Материални интенсив аралаштириш учун парраклар 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.

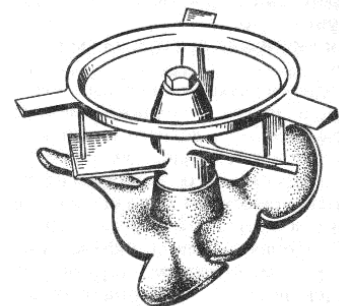
Аралаштириш мосламаларини ҳисоблаш

Аралаштиргич парраклари айланиши пайтида энергия асосан ишқаланиш



103-расм. Комбинацияланган турбоқориштиргич.

1 – электр юриткич; 2 - ротор; 3 - иситиладиган ғилоф; 4 - дефлектор; 5 - фильтр; 6 - бурилувчи қопқоқ; 7 – оқиб ўтиш мосламаси; 8 – совутиладиган сегментлар; 9- аралаштирувчи мослама.



104-расм. Турбоқориштиргич ишчи органи.

қаршилигини енгилшга, ҳамда уюрмалар ҳосил қилиш ва узилишига сарфланади. Мухитнинг қаршилик кучи қаршилик коэффиценти ψ га боғлиқ.

Исталган шаклдаги паррак учи учун ўртача ва айланма тезликлари орасида қуйидаги боғлиқлик бор ва у ушбу ифодадан топилади:

$$w_{yp} = a \cdot \omega$$

бу ерда: w - паррак учига тўғри келадиган айланма тезлик; a - пропорционаллик коэффиценти.

Агар, $R = P$ эканлигини инобатга олсак, қаршилик коэффицентини қуйидаги

тенгламадан аниқлаш мумкин:

$$\psi = \frac{P}{\rho d^2 \cdot a^2 \cdot \omega^2}$$

бу ерда: P - аралаштиргич паррагига таъсир этувчи куч.

Мухит қаршилигини енгиш учун аралаштиргич ўқиға маълум миқдорда энергия бериш зарур.

Паррак айланиши учун керакки қувват миқдорини қуйидаги формуладан ҳисоблаб топилади:

$$N = P \cdot w_{yp} = P \cdot a \cdot \omega$$

Паррак учидаги айланма тезлик $\omega = \pi d n$ (бу ерда n - аралаштиргичнинг 1 с ичидаги айланиш сони). Агар, охириги тенгламага P ва w_{yp} ларни қўйсақ, ушбу ифодани оламиз:

$$N = \psi \rho d^2 a^3 \omega^3 = \psi \rho d^2 a^3 (\pi d n)^3 \text{ ёки } N = \psi \pi^3 \cdot a^3 \cdot \rho \cdot d^5 \cdot n^3$$

Агар, $\psi \pi^3 a^3 = c$ деб белгилаб олсак, унда:

$$N = c d^5 \cdot n^3 \rho$$

Коэффициент c нинг қиймати, тажрибадан олинади. Одатда у идиш ва паррак шаклига, ҳамда Re критерийсига боғлиқ, яъни:

$$c = f(Re)$$

Аралаштиргичлар учун Re катталиги қуйидаги ифодадан топилади:

$$Re_m = \frac{w_{yp} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{(a\omega) \cdot d \rho}{\mu} = \frac{(a\pi d n) d \rho}{\mu} = a\pi \frac{\pi d^2 \rho}{\mu}$$

Ўзгармас қўпайтма $a\pi$ ни формуладан тушириб қолдирса бўлади. Унда:

$$Re_m = \frac{\pi d^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Қориштириш учун сарфланадиган қувватни аниқлашга олиб келади. Қориштиришни жадал бориши тажриба натижасига асосланган ҳолда белгиланади. Қориштиргич турини, ўлчамларини ва айлантириш частотаси танлангандан сўнг истеъмол қувватини ҳисоблашга киришилади. Қориштиргич ишлаганда қурилмада маълум ҳолатда суюқликнинг йўналган оқимлари пайдо бўлади. Суюқликнинг жадал аралашиши иккиламчи оқимлар билан урама ҳаракати ҳосил бўлиши билан амалга ошади. Суюқлик марказдан қочма куч таъсирида, марказдан девор томонга ҳаракатланади. Бундай ҳаракат натижасида қориштиргич марказида паст босим, зонаси ва ўрама ҳосил бўлиб, суюқлик куракнинг пастки ва юқори қисмларидан сўрилади. Суюқлик иккиламчи оқими ва айланма ҳаракати, мураккаб тасвири 3.58-расмда келтирилган.



105-расм. Қориштиргичда суюқлик циркуляциясининг схемаси.

Суюқликни аралаштиргичдаги циркуляциясини мураккаб шаклдаги ёпик қувурдаги ҳаракат деб тасаввур қилиб, истеъмол қувватини ҳисоблаш учун критериял тенгламани $Eu = f(Re, Fr, G_1, G_2, \dots)$ кўринишда олиш мумкин. Суюқлик ҳаракатига оғирлик кучининг таъсири сезиларсиз бўлгани учун, уни ҳисобга олмаймиз. Бунда $Eu = f(Re, G_1, G_2, \dots)$ бўлади, $Eu = \Delta p / (\rho w_{yp}^2)$; G_1, G_2 - параметрик критерий бўлиб, аралаштиргич ва

қориштиргичнинг геометрик ўлчамларини характерлайди. Аниқланадиган чизиқли ўлчам сифатида аралаштиргичнинг d_m диаметри олинса, суюқликнинг чизиқли тезлиги ўрнига, ўхшашлик критерийсида аралаштирувчи кураклар четларидаги айланма тезлик қўйилади:

$$V_{айл} = \frac{\pi d_{ар} \cdot n}{60}$$

бу ерда n - айланишлар сони, c^{-1} .

Куракнинг олди ва орқа текисликларидаги босимлар фарқи, аралаштиргичнинг фойдали қуввати N билан ифодаланади. Насос қувватига мос бўлган ва суюқликни узатиш учун керак бўладиган босим:

$$\Delta p = \frac{N}{V_{сек}} \quad (220)$$

бу ерда $V_{сек}$ - аралаштирилаётган суюқликнинг хажми, у суюқлик хажмини циркуляция карралиги кўпайтирилганига тенг, m^3/c .

$$V_{сек} = F H m \quad (221)$$

бу ерда F - қурилманинг кўндаланг кесим юзаси; H - қурилмадаги суюқлик сатхи баландлиги, m ; m - циркуляция карралиги, c^{-1} .

Қурилма ўлчамларини аралаштиргич диаметрига боғлаб ёзамиз, чунки улар ўзаро боғлиқ.

$$F = C_2 d_m^2 ; \quad H = C_3 d_m \quad (222)$$

Циркуляция карралигини аралаштиргич айланиш частотасига пропорционал деб қабул қилса бўлади:

$$m = C_4 \cdot n \quad (223)$$

$\omega = C_1 \cdot \omega_{айл} = C_1 \cdot \pi \cdot d_m \cdot n = C_5 \cdot d_m \cdot n$ - эканлигини ҳисобга олиб, модификациялашган Эйлер критерийсини оламиз:

$$Eu_m = \frac{N}{(C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \cdot \rho \cdot n^3 d_m^5)} \quad (224)$$

C_2, C_3, C_4, C_5 - коэффициентларни ҳисобга олмасак, Эйлер ва Рейнольдсларнинг модификациялашган критерийсини олиш мумкин:

$$Eu_m = \frac{N}{(\rho \cdot n^3 d_m^5)} \\ Re_m = \frac{n d_m^2 \rho}{\mu} \quad (225)$$

бу ерда: ρ - суюқлик зичлиги, kg/m^3 ; μ - қовушоқлик, $Pa \cdot c$.

Модификациялашган критерийлар орасидаги боғлиқлик тенгламаси ушбу кўринишга эга бўлади:

$$Eu_m = f(Re_m, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots)$$

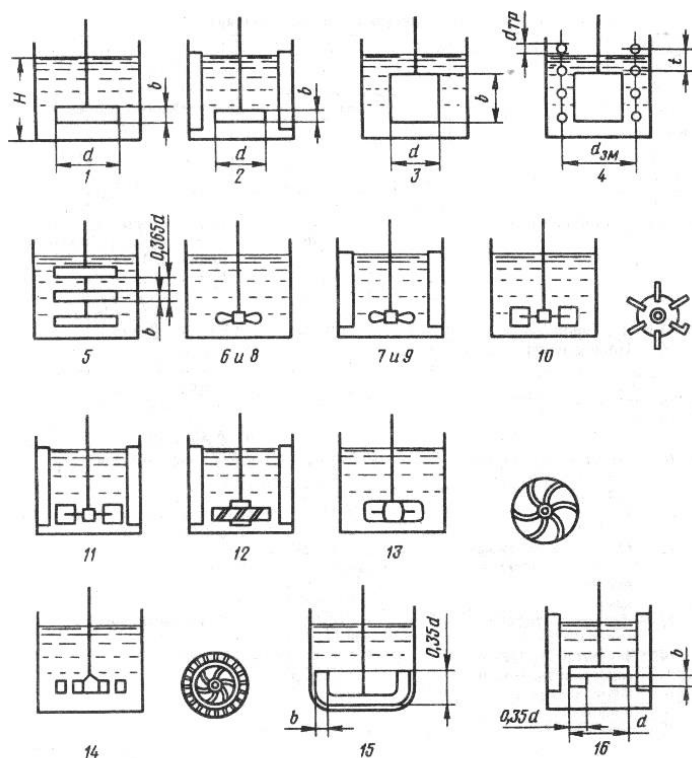
Қайта ишландан сўнг критериял тенглама $Eu_m = A Re_m^n \cdot \Gamma_1^a \cdot \Gamma_2^b$ соддалашган ҳолатга келади. Коэффициент A нинг қиймати даражалар кўрсаткичи, аралаштирувчининг тури, конструкцияси ва аралаштириш режимида боғлиқ бўлиб, улар тажрибадан аниқланади. Ҳисобни осонлаштириш учун тажриба натижалари

суюқликни реакторга кириш ва чиқишини ҳисобга олиб, Эйлер ва Рейнольдс критерийлар ўртасида боғлиқлик графиги кўринишида берилади.

Нормаллашган типдаги аралаштиргичли қурилмаларнинг $Eu_m = f(Re_m)$ боғлиқлиги 3-4 жадвалда ва 106-расмда аралаштиргичларнинг характеристикалари келтирилган.

Аниқланган қонуний боғлиқликлардан хулоса қилиш мумкинки, аралаштирувчининг истеъмол қуввати унинг кубдаги айланишлар частотасига ва бешинчи даражали диаметрига боғлиқ бўлади.

Аралаштиргичнинг истеъмол қувватига, қурилманинг шакли, тузилиши ва мосламанинг жойлашиши ҳам таъсир қилади. Шакли цилиндрик бўлмаган ва аралаштиргичга тўсиқлар ўрнатилган ҳолларда (змеевиклар ва бошқа мосламалар) аралаштириш жараёни учун кўп қувват талаб этилади.



106- расм. Аралаштиргичлар конструкциялари.

ўлчамлари, айланишлар сони ва аралаштирувчи юриткичининг қувватини ҳисоблашда фойдаланилади.

Қурилма иш ҳажми бўйича $V_{иш}$ ва талаб этилаётган аралашлаштириш жадаллиги j (тезкорлиги) бўйича керакли қуввати аниқланади $[Н \cdot м / (м^3 \cdot с)]$:

$$N = j \cdot V_{иш} \quad (226)$$

Ундан сўнг аралаштирувчининг тури, ўлчамлари ва айланишлар сони танланади.

Аралаштирувчининг дастлабки танланган параметрлари бўйича Эйлер критерийси ҳисобланади, 106-расмдан мос равишда Re_{ap} критерийси аниқланади. Re_{ap} қиймати ёрдамида эса аралаштиргичнинг айланиш сони аниқланади:

Механик аралаштиргичларда аралаштириш жараёнини ламинар ёки турбулент режимларда олиб бориш мумкин. $Re_{ap} < 20$ да ламинар режим, $Re_{ap} > 100$ бўлганда аралаштириш турбулент режимда бўлади.

Кучли турбулентлик оралиғида, ($Re_{ap} > 10^5$), Эйлер сони Рейнольдс критерийсига боғлиқ бўлмай қолади. Ушбу автомодел соҳада аралаштиргичнинг айланиш тезлигини ошириш қувват сарфининг кўпайишига олиб келади.

106-расмда берилган боғлиқликлар тажриба натижалари асосида олинган бўлиб, аралаштириш жадаллигини кетма - кет яқинлаштириш услубида аралаштирувчининг тури,

$$n = \frac{Re_{ap} \cdot M_c}{(d_{ap}^2 \cdot \rho)} \quad (227)$$

Агар, дастлаб аниқланган ушбу нисбатдан айланишлар сонининг қиймати кўп ёки кам бўлиб қолса, бошқа қийматлар олинади ва ҳисоблаш қайтарилади.

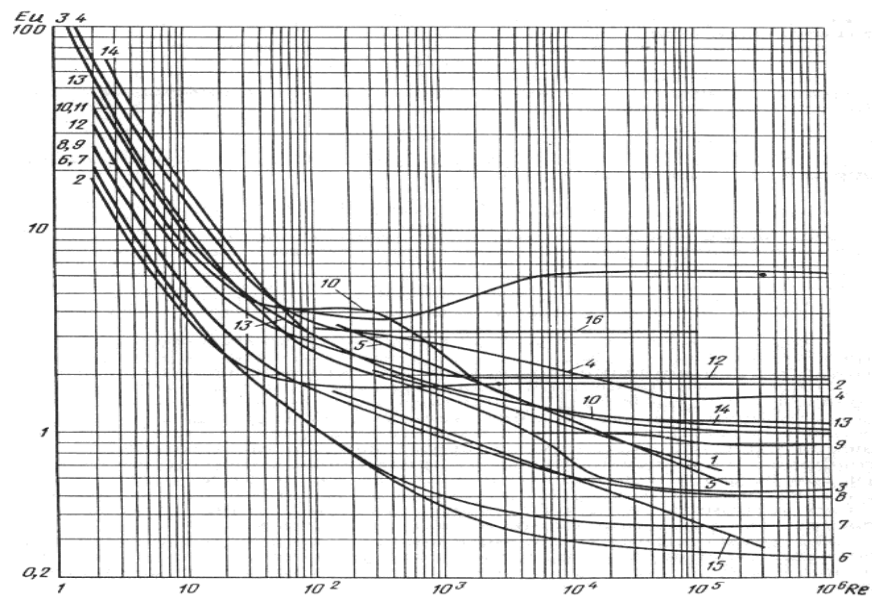
Ҳисоблар, (227) формулада ёрдамида топилган айланиш частотаси, аралаштиргичнинг дастлаб қабул қилинган айланиш частотаси билан тенг бўлгунга қадар олиб борилади.

Юқоридаги ҳисоблардан сўнг аралаштиргичнинг айланишлар сони ёки камайтиради ёки кўпайтиради. Бунинг учун эса аралаштиргичнинг диаметри ҳам мос равишда ўзгартирилади.

Электр юритгич қуввати (Вт) ни қуйидаги тенгламадан аниқласа бўлади:

$$N_{ю} = \frac{N}{\eta} \quad (228)$$

бу ерда η - узатманинг ф.и.к.



Аралаштиргичга сарфланадиган энергия (кВт·соат) аралаштириш давомийлигида боғлиқ бўлади:

$$E = N_{ю} \cdot \tau \quad (229)$$

Ишга тушириш вақтида энергия фақат ишқаланиш кучини енгил учунгина эмас, аралаштиргични, суюқликни ҳаракатга келтириш ва инерция кучларини енгил учун сарфланади. Бу туфайли истеъмол қуввати ортади.

Аралаштиргичларни ишлатиш тажрибасидан шу нарса маълум бўлдики, ишга тушириш вақтида аралаштириш мосламасининг куракларига суюқлик кўрсатадиган қаршилиқ иш пайтидагига нисбатан 2 дан 4,5 баробаргача ортиб кетади. Қисқа вақт ичида ортиқча юклама 200...300% га ортиб кетиши муносабати билан, асинхрон электр юриткичлар қўлланилади.

Нормаллашган аралаштиргичларнинг характеристикалари

3-4 жадвал

Аралаштиргичнинг 3.59- расмда, 3.60- расмда эгри чизик рақамлари	Аралаштиргич тури	Аралаштиргич характеристикаси				Идиш характеристикаси
		D/d	H/D	S/d _{ap}	S/d _{ap}	
1	Икки парракли	3	1	0,25	-	тўсиқсиз
2	Икки парракли	3	1	0,167	-	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
3	Икки парракли	2	1	0,885	-	тўсиқсиз
4	Икки парракли	2	1	0,885	-	змеевикли (d _{зм} =1,9d; d _{тр} =0,066d; t=0,12d)
5	Олти куракли	1,11	1	0,066	-	тўсиқсиз
6	Пропеллерли	3	1	-	1	тўсиқсиз
7	Пропеллерли	3	1	-	1	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
8	Пропеллерли	3	1	-	2	тўсиқсиз
9	Пропеллерли	3	1	-	2	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
10	Очиқ турбинали 6 та тўғри куракли	3	1	0,25	-	тўсиқсиз
11	Очиқ турбинали 6 та тўғри куракли	3	1	0,2	-	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
12	Очиқ турбинали 8 та текис эгилган куракли	3	1	0,125	-	4 та тўсиқли, эни 0,1·D
13	Ёпиқ турбинали 6 та куракли	3	1	-	-	тўсиқсиз
14	Ёпиқ турбинали 6 та куракли ва йўналтирувчи мосламали	3	1	-	-	тўсиқсиз
15	Якорли	1,11	1	0,066	-	тўсиқсиз
16	Дискли, 6 та куракли	2,5	1	0,1		4 та тўсиқли, эни 0,1·D

16- Мавзу: Иссиқлик алмашиниш жараёнлари

Иссиқлик ўтказиш

Умумий тушунчалар

Температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст жисмга иссиқликнинг ўз - ўзидан, қайтмас ўтиш жараёнига иссиқлик алмашиниш дейилади.

Жараёни ҳаракатга келтирувчи кучи, бу ҳар хил температурали бўлган жисмларнинг температуралар фарқидир. Термодинамиканинг 2-қонунига биноан, иссиқлик ҳар доим температураси юқори жисмдан температураси паст жисмга ўтади.

Иссиқлик (ищиқлик миқдори) – бу ищиқлик алмашиниш жараёнининг энергетик характеристикаси бўлиб, жараён мобайнида узатилган ёки олинган энергия миқдори билан белгиланади.

Иссиқлик алмашиниш жараёнида иштирок этувчи жисмлар ищиқлик ташувчи элткич ёки ищиқлик элткич деб номланади.

Иссиқлик ўтказиш – ищиқлик энергиясининг тарқалиш жараёнлари тўғрисидаги фан.

Иссиқлик алмашиниш жараёнларига иситиш, совитиш, конденсациялаш, буғланиш ва буғлатишлар киради. Ушбу жараёнларни амалга ошириш учун мўлжалланган қурилмалар ищиқлик алмашиниш қурилмалари деб аталади.

Маълумки, ищиқлик алмашиниш жараёнларида камида 2 та турли температурали муҳитлар иштирок этади. ўз ищиқлик энергиясини узатувчи, юқори температурали муҳит - ищиқлик элткич деб аталса, ищиқлик энергиясини қабул қилувчи паст температурали муҳит эса-совуқлик элткич деб аталади.

Иссиқлик ва совуқлик элткичлар кимёвий бардошли бўлиши, қурилмаларини емирмаслиги ва унинг деворларида қаттиқ, ғовак, қуйқа ҳосил қилмаслиги керак. Шунинг учун, ищиқлик ёки совуқлик элткичларни танлашда жараён температураси, нархи ва уларни қўлланиш соҳалари каби кўрсаткичларга катта аҳамият бериш керак.

Иссиқлик (совуқлик) элткичларнинг энг кенг тарқалган турлари

4-1 жадвал

т/р	Иссиқлик элткичининг номи	Ишчи шароитлар	
		Температура, °C	Босим, МПа
1.	Гелий	≤ -272	≤ 0,1
2.	Водород	≤ -257	≤ 1,0
3.	Азот, кислород, ҳаво	≤ -210	≤ 20,0
4.	Метан	-100...-160	≤ 4,0
5.	Этан, этилен, фреонлар	-70...-150	≤ 4,0
6.	Аммиак, олтингугурт ва углерод диоксиди, фреон	0...-70	≤ 1,5
7.	-12,22	0...-65	≤ 0,1
8.	Этиленгликоль	0...-50	≤ 0,1
9.	Кальций хлорид эритмаси	0...-10	≤ 0,3
10.	Фреон –11, 21, 113, 114	0...-100	

11.	Сув	100...374	0,1
12.	Тўйинган сув буғи	0...250	0,1...22,
13.	Газойль	200...300	5
	Дифенил, дифенилоксид, дифенил аралашмалари	260...350	0,1...4,0
14.	(юқори температурали органик иссиқлик	320	0,1
15.	элткичлар)	400	0,1...0,6
16.	Силиконлар (юқори молекулали кремний органик	150...530	0,1
17.	бирикма)		0,1
18.	Қалай ва сурмаларнинг кўрғошин билан	420...1000	0,1
19.	котишмаси	≤ 1500	0,1
	HTS куюқ эритмаси (40% NaNO_2 , 17% NaNO_3 ва	≤ 3500	0,1
	53% KNO_3)		0,1
	Тутун газлари		
	Қаттиқ иссиқлик элткичлар (шамот, алунд ва		
	хоказо)		
	Газлардан электр разряди ўтганда ҳосил бўлган		
	газлар		

Температураси турли бўлган муҳитлар орасида иссиқлик ўтказиш турғун ва нотурғун шароитларда амалга ошиши мумкин.

Турғун жараёнларда қурилманинг температура майдони вақт ўтиши билан ўзгармайди. Нотурғун жараёнларда эса, вақт ўтиши билан температура ўзгаради. Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда жараёнлар турғун боради, узлукли (даврий) ишлайдиган қурилмаларда эса – жараёнлар нотурғун бўлади. Ундан ташқари, даврий ишлайдиган қурилмаларни юргизиш ва тўхтатиш, ҳамда иш режимлари ўзгарган ҳолларда нотурғун жараёнлар содир бўлади.

Иссиқлик ўтказиш жараёнининг асосий кинетик характеристикалари бўлиб, ўртача температуралар фарқи, иссиқлик ўтказиш коэффициенти ва узатилаётган иссиқлик миқдорлари ҳисобланади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ҳисоблашда қуйидаги параметрлар топилади:

1. Иссиқлик оқими (қурилманинг иссиқлик юқламаси), яъни иссиқлик миқдори Q ҳисобланади. Иссиқлик оқимини аниқлаш учун иссиқлик баланси тузилади ва у Q га нисбатан ечиб топилади;

2. Берилган вақт ичида зарур иссиқлик миқдорини узатишни таъминловчи қурилма-нинг иссиқлик алмашилиш юзаси аниқланади.

Бунинг учун иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан фойдаланилади.

Иссиқлик асосан 3 усулда узатилиши мумкин. Иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва иссиқлик нурланиши.

Иссиқлик баланси

Температураси юқори иссиқлик элткичдан берилаётган иссиқлик миқдори Q_1 температураси паст элткични иситиш учун Q_2 ва маълум бир қисми қурилмадан атроф муҳитга йўқотилаётган иссиқлик ўрнини тўлдириш учун $Q_{ўқ}$ сарф бўлади. Одатда, иссиқлик қопламали қурилмалар учун $Q_{ўқ}$ миқдори фойдали иссиқлик миқдорининг 3...5% ни ташкил этади. Шунинг учун, бу турдаги қурилмаларни

хисоблашда $Q_{йўқ}$ ни эътиборга олмаса ҳам бўлади. Унда, иссиқлик баланси қуйидаги тенглик билан ифодаланиши мумкин:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (300)$$

бу ерда Q - қурилманинг иссиқлик юкламаси.

Агар, иссиқлик элткичнинг массавий сарфи G_1 , унинг қурилмага кириш энтальпияси $I_{1б}$ ва чиқишдагиси эса $I_{1ч}$, совуқлик элткичнинг сарфи G_2 қурилмага киришдаги энтальпияси $I_{2б}$ в чиқишдагиси $I_{2ч}$ бўлганда (301) тенгликни ушбу кўринишда ёзиш мумкин:

$$Q = G_1(I_{1б} - I_{1ч}) = G_2(I_{2ч} - I_{2б}) \quad (301)$$

Агар, иссиқлик алмашилиш жараёнида иссиқлик элткичнинг агрегат ҳолати ўзгармаса, унда унинг энтальпияси ушбу кўринишда ифодаланади:

$$\begin{aligned} I_{1б} &= c_{1б} t_{1б} & I_{1ч} &= c_{1ч} t_{1ч} \\ I_{2ч} &= c_{2ч} t_{2ч} & I_{2б} &= c_{2б} t_{2б} \end{aligned} \quad (302)$$

Одатда, техник хисобларда маълум температура учун энтальпия қиймати жадвал ва диаграммалардан топилади.

Агар, иккала элткичнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари (C_1 ва C_2) температурага боғлиқ эмас деб хисобланса, унда иссиқлик балансининг тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1б} - t_{1ч}) = G_2 c_2 (t_{2ч} - t_{2б}) \quad (303)$$

Температура майдони ва градиенти

Мухитларда иссиқлик оқими ва температуранинг тақсимланиши ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш иссиқлик алмашилиш назариясининг асосий вазифаларидан биридир.

Текширилаётган мухитнинг ҳамма нуқталари учун исталган бирор вақтдаги температура қийматлари мажмуига ***температура майдони*** дейилади.

Энг умумий ҳолатда маълум бир нуқтадаги температура t шу нуқтанинг координаталари (x, y, z) боғлиқ бўлади ва вақт τ ўтиши билан ўзгаради. Демак, температура майдонини ушбу функция билан ифодалаш мумкин:

$$t = f(x, y, z, \tau) \quad (304)$$

Ушбу боғлиқлик турғун температура майдонини ифодаловчи тенгламадир.

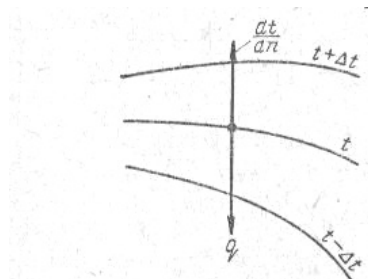
Хусусий ҳолатда (304) тенглама фақат фазовий координаталар функцияси бўлади, яъни:

$$t = f(x, y, z) \quad (305)$$

ва унга тегишли турғун температура майдонини ифодалайди.

Агар, жисмда бирор текислик ўтказилса ва ушбу текисликдаги бир хил температурали нуқталарни бирлаштирсак, ўзгармас температурали чизиқ (изотерма) га эга бўламиз. Температураси бир хил нуқталардан ташкил топган жисмнинг юзаси изотермик юза деб номланади.

Иккита бир-бирига яқин жойлашган изотермик юзаларнинг температуралар фарқи Δt бўлса, улар орасидаги энг қисқа масофа Δn бўлади (4.1-расм). Агар, иккала изотермик юзалар бир-бирига яқинлашиб борса $\frac{\Delta t}{\Delta n}$ нисбат ушбу чегарага интилади:



107-расм. Температура градиентини аниқлашга оид.

$$\lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad} t \quad (306)$$

Изотермик юзага нормал бўйича йўналган температура ҳосиласи температура градиенти деб номланади.

Температура градиенти вектор катталиқдир.

Температура градиенти нольга тенг бўлмаган ($\text{grad} t \neq 0$) шароитдагина иссиқлик оқими ҳосил бўлиши мумкин. Маълумки, иссиқлик оқими ҳар доим температура градиенти чизиғи бўйлаб ҳаракат қилади.

Лекин, унинг ҳаракат йўналиши температура градиентига қарама-қарши бўлади.

Иссиқлик ўтказувчанлик

Фурье қонуни. Қаттиқ жисмларда иссиқлик тарқалиш жараёнини тажрибавий ўрганиш натижасида Фурье (1768-1830) иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонуни кашф этди. Ушбу қонунга биноан, иссиқлик ўтказувчанлик орқали узатилган иссиқлик миқдори dQ температура градиенти $\frac{\partial t}{\partial n}$, вақт $d\tau$ га ва иссиқлик оқими йўналишига перпендикуляр бўлган майдон юзаси dF га пропорционал бўлади, яъни:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF \cdot d\tau \quad (307)$$

(307) формуладаги пропорционаллик коэффиценти λ иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти деб аталади. Бу коэффицент жисмнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини характерлайди ва қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

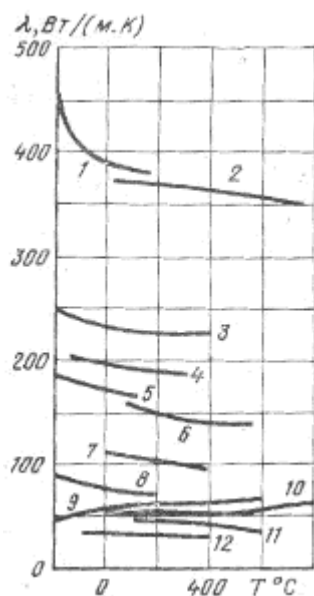
$$[\lambda] = \left[\frac{dQ \partial n}{\partial t dF \cdot d\tau} \right] = \left[\frac{Ж \cdot м}{К \cdot м^2 \cdot с} \right] = \left[\frac{Вт \cdot м}{м \cdot К} \right]$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти иссиқлик алмашилиш юза бирлигидан

(1 м²) вақт бирлиги давомида изотермик юзага нормал бўлган 1м узунликка тўғри келган температураларнинг 1 К (°С) га пасайиши вақтида узатилган иссиқлик миқдорини ифодалайди.

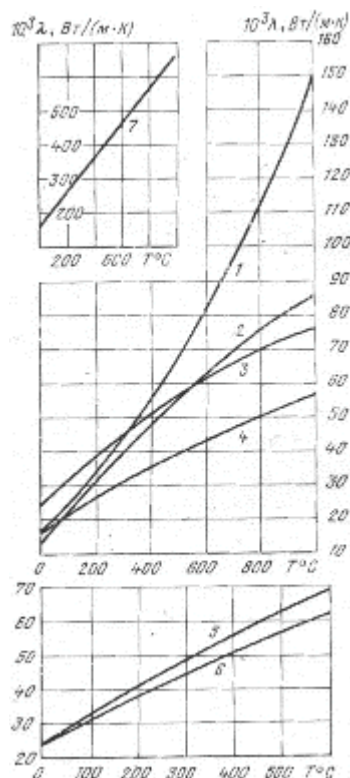
Жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти унинг таркиби, физик-кимёвий хоссалари, температура, босим ва бошқа катталиқларга боғлиқ. Иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти турли материаллар учун қуйидаги ораликда бўлади:

- газлар учун 0,005...0,5 Вт/(м·К);
- суяқликлар учун 0,08...0,7 Вт/(м·К);
- иссиқлик қоплама ва қурилиш материаллари учун 0,22...3,0 Вт/(м·К);
- металллар учун 2,3...458,0 Вт/(м·К).



108- расм. Айрим металларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари.

1-тоза мис; 2-мис 99,9%; 3- алюминий 99,7%; 4- алюминий 99,0%; 5-тоза марганец; 6-марганец 99,6%; 7- рух 99,8%; 8-тоза платина; 9-никель 99%; 10-никель 99,2%; 11-темир 99,2%; 12-техник тоза кўрғошин.



109- расм. Турли газларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари.

1- сув буғи; 2- углекислота; 3- ҳаво; 4- аргон; 5- кислород; 6- азот; 7- водород.

Кимё ва озиқ-овқат саноатларида қўлланиладиган айрим металлар иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти қуйидаги қийматларга эга: легирланган пўлат - 14...23; кўрғошин - 35; углеродли пўлат - 45; никель - 58; чўян - 63; алюминий - 204; мис - 384; кумуш - 458 Вт/(м·К). Саноатда энг кўп қўлланиладиган металлар ва суюқликлар иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари 4.2 ва 4.3 –расмларда келтирилган.

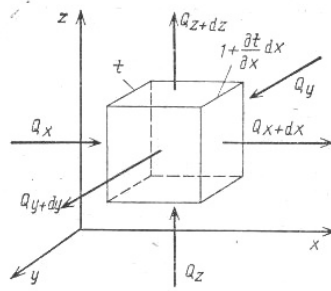
Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси

Иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан иссиқликнинг тарқалиши математик усулда дифференциал тенглама билан ифодаланиши мумкин. Ушбу тенглама энергиянинг сақланиш қонуни асосида келтириб чиқарилади ва иссиқлик тарқатаётган жисм ёки мухитнинг физик хоссалари (зичлик ρ , иссиқлик сиғим c , иссиқлик ўтказувчанлик λ) ҳамма йўналишларда ва вақт ўтиши билан ўзгармайди деб қабул қилинади. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш учун қаттиқ жисмдан қирралари dx , dy ва dz бўлган элементар параллелепипед ажратиб олинади (110-расм).

Агар, параллелепипеднинг чап орқа ва остки томонларидан $d\tau$ вақт мобайнида Q_x , Q_y ва Q_z миқдорда иссиқлик кирса, қарама-қарши - ўнг, олд ва устки - томонларидан эса ўз навбатида Q_{x+dx} , Q_{y+dy} ва Q_{z+dz} миқдорда иссиқлик чиқади.

Бирор $d\tau$ вақт ичида параллелепипедга кирган ва ундан чиққан

иссиқликларнинг фарқи ушбу ифодадан топилади:



110-расм. Фурьенинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}) \quad (308)$$

Фурье қонунига биноан (308) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial \left(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx \right)}{\partial x} dydzd\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dydzd\tau - \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau$$

Демак,

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dydzd\tau \quad (309)$$

Юқоридаги усулдан фойдаланиб, қолган қирралар орқали ўтган иссиқлик миқдорлари аниқланади:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dx dydzd\tau \quad (310)$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dx dydzd\tau \quad (311)$$

(311)...(312) тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини қўшиб, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dx dydzd\tau \quad (312)$$

Энергия сақланиш қонунига биноан, dQ иссиқлик миқдорининг фарқи $d\tau$ вақт ичида параллелепипед энтальпиясининг ўзгаришига сарфланаётган иссиқлик миқдорига тенг бўлади, яъни:

$$dQ = c \rho dx dydz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau \quad (313)$$

бу ерда c – материалнинг солиштирма иссиқлик сиғими.

(312) ва (313) ифодаларни солиштириш натижасида Фурьенинг иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (314)$$

(314) тенгламадаги $\lambda/(c\rho)$ пропорционаллик кўпайтмиси температура ўтказувчанлик коэффиценти деб номланади ва у қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[a] = \left[\frac{\lambda}{c\rho} \right] = \left[\frac{\frac{Вт}{м \cdot К}}{\frac{Ж}{кг \cdot К} \cdot \frac{кг}{м^3}} \right] = \left[\frac{\frac{Ж}{с \cdot м \cdot К}}{\frac{Ж}{кг \cdot К} \cdot \frac{кг}{м^3}} \right] = \left[\frac{м^2}{с} \right]$$

Ушбу коэффиценти жисмнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини характерлайди.

Одатда, Фурьенинг иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини ушбу кўринишда ёзилади:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad \text{ёки} \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t$$

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг иситиш юзалари текис, цилиндрик ёки сферик шаклда бўлиши мумкин.

Шунинг учун, юқорида қайд этилган геометрик шаклли деворларда иссиқликнинг тарқалиши муҳим амалий аҳамиятга эга.

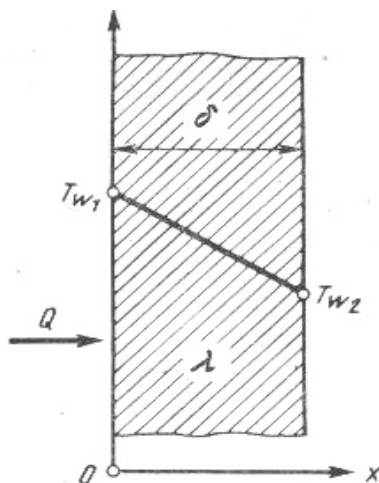
Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Бир жинсли, деворнинг қалинлиги δ ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти λ бўлган бир қатламли текис девордан иссиқлик ўтишини кўриб чиқамиз. Деворнинг ташқи юза температураси t_{w1} , ички юзасиники эса t_{w2} га тенг, лекин $t_{w1} > t_{w2}$ (111-расм).

Бир қатламли, текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқариш учун Фурьенинг дифференциал тенгламаси (314) дан фойдаланамиз.

Маълумки, турғун иссиқлик режимда деворнинг турли нуқталаридаги температура, вақт ўтиши билан ўзгармайди, яъни $dt/d\tau = 0$. Ундан ташқари, температура майдони бир ўлчамли бўлади.

Демак, температура фақат бир йўналиш (x ўқи) бўйлаб ўзгаради, яъни:



111-расм. Текис бир қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0$$

Шундай қилиб, турғун жараёнда бир қатламли текис девор учун (4.16) тенгламани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (315)$$

(315) тенгламани интегралласак, қуйидаги тенгликларни оламиз:

$$\frac{dt}{dx} = C_1; \quad t = C_1 x + C_2 \quad (315)$$

Интеграллаш константалари C_1 ва C_2 ларни чегаравий ($x=0$ ва $x=\delta$) шартлардан аниқлаймиз:

$$C_2 = t_{w1}; \quad C_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \quad (316)$$

Агар, (316) ни (317) га қўйсак, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$t = \frac{t_{w2} - t_{w1}}{\delta} \cdot x + t_{w2} \quad (317)$$

Охирги (317) тенгламани таҳлил қилсак, ушбу хулосага келиш мумкин: турғун иссиқлик жараёнида текис деворнинг қалинлиги бўйлаб температура тўғри чизик қонунига биноан ўзгаради ва температура градиенти ўзгармас қийматини сақлайди.

Аниқланган температура градиенти қийматини (317) тенгламага қўйсак, иссиқлик ўтказувчанликнинг асосий қонунини ифодаловчи тенгламани оламиз:

$$dQ = \lambda \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\delta} dF d\tau$$

ёки

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) F \tau \quad (318)$$

бу ерда λ/δ нибат деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини, унга тескари катталиқ δ/λ - деворнинг термик ёки иссиқлик қаршилигини ифодалайди.

Агар, текис девор n та (бир-биридан фарқли) қатламдан иборат бўлса, турғун иссиқлик жараёнида ҳар бир қатлам орқали бир хил миқдорда иссиқлик ўтади (112-расм) ва у турли қатламлар учун қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\begin{array}{lll} Q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_{w1} - t_a) F \tau & \text{ёки} & Q \frac{\delta_1}{\lambda_1} = (t_{w1} - t_a) F \tau \\ Q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_a - t_b) F \tau & \text{ёки} & Q \frac{\delta_2}{\lambda_2} = (t_a - t_b) F \tau \\ \dots\dots\dots & \dots\dots & \dots\dots\dots \\ Q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_n - t_{w2}) F \tau & \text{ёки} & Q \frac{\delta_n}{\lambda_n} = (t_n - t_{w2}) F \tau \end{array}$$

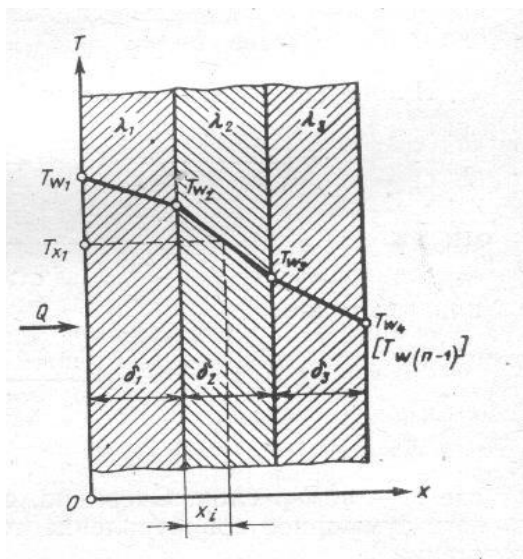
Тенгламалар ўнг ва чап қисмларини қўшиш натижасида ушбу кўринишга эришамиз:

$$Q \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right) = (t_{w1} - t_2) F \tau$$

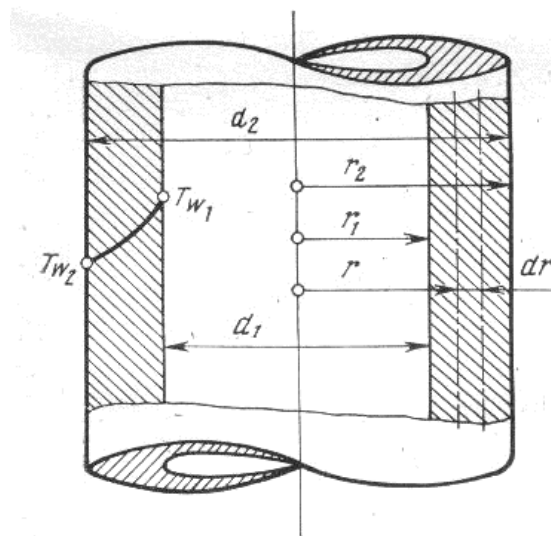
Бунда

$$Q = \frac{(t_{w1} - t_{w2}) F \tau}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (319)$$

бу ерда i - девор қатламининг тартиб рақами; n - қатламлар сони.



112-расм. Текис, кўп қатламли деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.



113-расм. Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқаришга оид.

Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Узунлиги L , ички радиуси r_u ва ташқи радиуси r_t бўлган цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз (113-расм). Иссиқлик ўтказиш турғун жараёнда амалга ошаётгани учун деворнинг ички ва ташқи юзаларидаги температуралари ўзгармасдир, яъни $t_{w1} = t_{w2}$. Аммо, ички ва ташқи юзалар бирига тенг бўлмагани учун (319) тенгламани қўллаш ўринли эмас.

Температура фақат радиус бўйлаб ўзгармоқда ва $t_{w1} > t_{w2}$ деб қабул қиламиз. Цилиндрик деворнинг бирор r радиусдаги юзаси $F = 2\pi rL$ бўлсин. Агар, F нинг қийматини (320) тенгламага қўйсак, бир ўлчовли майдон учун Q ни топиш мумкин:

$$Q = -\lambda 2\pi L \tau \frac{dt}{d\delta}$$

бу ерда $\delta = r_m - r_u$.

Агар $d\delta$ ўрнига dr ни қўйсак, унда

$$Q = -\lambda 2\pi L \tau \frac{dt}{dr}$$

ёки

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} dt$$

ушбу тенгламани r_u дан r_m ва t_{w1} дан t_{w2} ораликда интегралласак, қуйидаги кўринишга эришамиз:

$$\ln \frac{r_m}{r_u} = -\frac{2\pi L \tau}{Q} (t_{w2} - t_{w1})$$

ёки $r_m/r_u = d_m/d_u$ эканлиги ҳисобга олсак, ушбу формулани оламиз:

$$Q = \frac{2\pi L \tau(t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{d_r}{d_u}} \quad (320)$$

Келтирилиб чиқарилган (320) формуладан кўриниб турибдики, цилиндрик деворларнинг қалинлиги бўйича температура логарифмик (эгри чизик) қонуни асосида ўзгаради. Ушбу тенглама тургун иссиқлик ўтиш жараёни учун цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини ифодалайди.

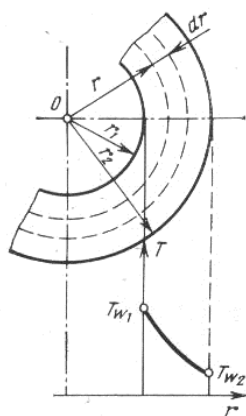
Худди шу йўл билан n - қатламли цилиндрик девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик усулида узатилган иссиқлик миқдорини аниқлаш мумкин:

$$Q = \frac{2\pi L \tau(t_{w1} - t_{w2})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2,3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}} \quad (321)$$

Шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги

Девори материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти λ , ички радиуси r_1 ва ташқи радиуси r_2 бўлган шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз (113-рasm)

Бундай шаклдаги жисмларда температура тарқалиши бир ўлчовли бўлгани учун, температуранинг деворда тақсимланиши шарнинг фақат радиусига боғлиқ. Шунинг учун сферик координаталар системасида иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгласи ушбу кўринишда ёзилади:



113-рasm. Шарсимон деворда температуранинг тақсимланиши.

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dt}{dr} = 0 \quad (322)$$

Деворнинг исталган қалинлигидаги температура ушбу формуладан топилади:

$$t(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2 \quad (323)$$

Агар, шарсимон деворда температуранинг тақсимланиши гипербола эгри чизиги шаклида, ташқи температураси t_{w1} ва ички температураси t_{w2} бўлганда интеграллаш константалари C_1 ва C_2 ушбу тенгламалар системасидан топилади:

$$t_{w1} = -\frac{C_1}{r_1} + C_2; \quad t_{w2} = -\frac{C_1}{r_2} + C_2 \quad (324)$$

яъни

$$C_1 = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}}; \quad C_2 = \frac{r_2 t_{w2} - r_1 t_{w1}}{r_2 - r_1} \quad (325)$$

Олинган C_1 ва C_2 ларнинг қийматларини (325) га қўйсак, ушбу ифодани оламиз:

$$t(r) = \frac{t_{w1} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_2} \right) + t_{w2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} \quad (326)$$

Турғун жараёнда тўлиқ иссиқлик оқими ушбу формуладан аниқланади:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dr} 4\pi r^2 \quad (327)$$

(327) ва $dt/dr = C_1/r^2$ лардан фойдаланиб, шарсимон девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан ўтган иссиқлик миқдорини топиш формуласини келтириб чиқариш мумкин:

$$Q = \frac{4\pi\lambda}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} (t_{w1} - t_{w2}) \quad (327)$$

Кўп қатламли шарсимон девор учун эса, Q ни ҳисоблаш формуласи ушбу кўринишда бўлади:

$$Q = \frac{4\pi(t_{w1} - t_{w(n+1)})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \left(\frac{1}{r_i} + \frac{1}{r_{i+1}} \right)} \quad (328)$$

бу ерда λ_i ва $r_i - i$ қатламнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти ва ички радиуси.

Мураккаб шаклли жисмлар иссиқлик ўтказувчанлиги

Юқорида келтирилган параграфларда энг содда жисмларнинг турғун жараёнда иссиқлик ўтказувчанлиги кўриб чиқилди. Лекин, айрим ҳолларда мураккаб жисмларнинг иссиқлик ўтказувчанлигини билишга тўғри келади. Бунинг учун ушбу бобда келтириб чиқарилган формулаларнинг умумлаштирилган кўринишидан ҳам фойдаланиш мумкин, яъни:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F_x \quad (329)$$

бу ерда F_x —жисмнинг бирор сохта (ҳисобланган) иссиқлик бериш юзаси.

Текис деворлар учун

$$F_{\text{тек}} = \frac{2F}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (330)$$

бу ерда F_1 ва F_2 – иссиқ ва совуқ ҳолатлардаги юзалари (текис пластина учун $F_1=F_2$).

Цилиндрик деворлар учун

$$F_{\text{цил}} = \frac{2\pi r_2 - 2\pi r_1}{\ln \left(\frac{2\pi r_2}{2\pi r_1} \right)} = \frac{F_2 - F_1}{\ln \left(\frac{F_2}{F_1} \right)} \quad (331)$$

Шарсимон деворлар учун

$$d_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} \quad \text{ва} \quad d_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

яъни

$$F_{\text{хуар}} = \sqrt{F_1 \cdot F_2} \quad (332)$$

Агарда, жисмлар ўта мураккаб бўлса, ҳар қайси ҳолатда алоҳида ёндашув зарур.

Қуйида мамлакатимизнинг асосий техник хом - ашёси бўлмиш - пахта чигитининг иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз. Маълумки, пахта чигити нотўғри, эллипс - шаклли жисм бўлиб, ташқи юзаси пахта толалари билан қопланган гетероген мураккаб (4 қатламли) системадир. Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар бир қатлам физик-механик ва диффузион-иссиқлик хоссалари билан бир-биридан кескин фарқ қилади [5,6,13].

Пахта чигитининг иссиқлик ўтказувчанлигини аниқлаш учун кўп қатламли сфера кўринишидаги соддалашган моделдан фойдаланамиз.

Кўпгина тажрибалар асосида, чигит марказида 0,1...0,15 мм ўлчамли бўшлиқ (эмбрион) борлиги аниқланди. Шунинг учун ҳам, пахта чигитини ичи бўш сфералар системаси деб ҳам ҳисобласа бўлади.

Сфера турли жинсли 4 та қатламдан иборат ва унинг ички t_1 ва ташқи юзалари t_5 температуралари бўлсин, лекин $t_1 > t_5$. Сферанинг ички радиуси r_1 , ташқисиники- r_5 . Жисмдаги изотермалар концентрик айланалар кўринишидадир.

Фурье қонунига биноан, ичи бўш сфера учун иссиқлик оқими Q ушбу формуладан топилади:

$$Q = -\lambda F \frac{dt}{dr} = -4\lambda\pi r^2 \frac{dt}{dr} \quad (333)$$

Бу тенгламани интегралласак, қуйидаги натижани оламиз:

$$t = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \cdot \frac{1}{r} + C$$

(4.37) тенгламага девор чегараларидаги ўзгарувчан катталиклар қийматларини қўйиб, ушбу формулага эга бўламиз:

$$Q = \frac{4\pi\lambda(t_1 - t_5)}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_5}} \quad (334)$$

Пахта чигитининг ҳар бир қатламидан ўтаётган иссиқлик миқдорини (4.38) формула ёрдамида топиш мумкин. Формуланинг ёйилган кўриниши қуйидагича бўлади:

$$Q = \frac{4\pi(t_1 - t_5)}{\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{\lambda_1} + \frac{\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}}{\lambda_2} + \frac{\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}}{\lambda_3} + \frac{\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_5}}{\lambda_4}} \quad (335)$$

бу ерда r_1, r_2, r_3, r_4, r_5 – пахта чигити бўшлиғи, мағизи, ҳаво қатлами, қобиғи ва толали қатламларининг радиуслари, м; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – чигит мағизи, ҳаво, қобиғи ва пахта толаларининг иссиқлик ўтказувчанлиги [5,6,13].

Иссиқлик нурланиши

Иссиқлик нурланиши тўлқин узунликлари спектрнинг кўз илғамас қисмида бўлиб, 0,8...40 мкм ораликда бўлади. Улар ёруғлик нурлари 0,4...0,8 мкм дан фақат тўлқин узунликлари билан фарқланади. 4-1 жадвалда нурланиш турига қараб тўлқин узунликларининг ўзгариши ҳақида маълумотлар келтирилган.

Электромагнит тўлқинларининг умумий классификацияси

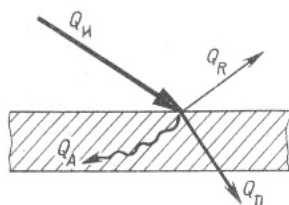
4-2 жадвал

Нурланиш тури	Тўлқин узунлиги, м
Космик	$0,05 \cdot 10^{-12}$
γ - нурланиш	$0,05 \cdot 10^{-12} \dots 0,1 \cdot 10^{-12}$
Рентген	$10^{-12} \dots 20 \cdot 10^{-9}$
Ультрабинафша	$20 \cdot 10^{-9} \dots 0,4 \cdot 10^{-6}$
Кўз илғайдиган	$0,4 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-6}$
Иссиқлик (инфранизир)	$0,8 \cdot 10^{-6} \dots 0,8 \cdot 10^{-3}$
Радио тўлқинлар	$0,2 \cdot 10^{-3} \dots \infty \cdot 10^{-3}$

Иссиқлик ва ёруғлик нурланишининг табиати бир хил бўлиб, умумий қонуниятлар билан характерланади, яъни бир жинсли ва изотроп муҳитларда нурланиш энергияси тўғри чизик бўйлаб тарқалади. Иссиқ жисмлардан тарқалаётган оқим нурлари бошқа жисмга тушганда, энергиянинг бир қисми ютилади $Q_{ют}$, бир қисми қайтарилади $Q_{кай}$ ва бир қисми ўзгармасдан $Q_{ўз}$ ўтиб кетади.

Унда, энергиянинг умумий баланси:

$$Q_{ют} + Q_{кай} + Q_{ўз} = Q_{нур} \quad (336)$$



115а- расм. Нурланиш энергияси балансиға оид.

ёки ушбу балансининг улушлардаги кўриниши:

$$\frac{Q_{ют}}{Q_{нур}} + \frac{Q_{кай}}{Q_{нур}} + \frac{Q_{ўз}}{Q_{нур}} = 1 \quad (337а)$$

бу ерда $Q_{ют}/Q_{нур}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни ютиш қобилиятини; $Q_{кай}/Q_{нур}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни қайтариш қобилиятини; $Q_{ўз}/Q_{нур}$ – жисмнинг нурланган иссиқликни ўтказиб юбориш қобилиятини характерлайди. Умуман олганда ҳар бир нисбат 1 га тенг бўлиши мумкин, агар қолган иккита нисбат нолга тенг бўлса.

$Q_{ют}/Q_{нур}=1$ бўлганда ($Q_{кай}/Q_{нур}=Q_{ўз}/Q_{нур}=0$), жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ютилади. Бу ҳолда жисм абсолют қора жисм деб номланади.

$Q_{ўз}/Q_{нур} = 1$ бўлганда ($Q_{ют}/Q_{нур} = Q_{кай}/Q_{нур} = 0$), жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ўзгармасдан ўтиб кетади. Бу ҳолда жисм **абсолют шаффоф жисм** деб номланади.

Саноатда ва табиатда абсолют қора, оқ ва шаффоф жисмлар бўлмайди. $Q_{ют}/Q_{нур}$, $Q_{кай}/Q_{нур}$ ва $Q_{ўз}/Q_{нур}$ ўртасидаги боғлиқлик жисм табиатига, юзаси ҳолатига ва температурасига боғлиқдир. Табиатда учрайдиган ҳамма жисмлар

нурланган энергиянинг бир қисмини ютади, бир қисмини қайтаради ва бир қисмини ўздан ўтказиб юборади. Бундай жисмлар **кул ранг жисмлар** деб номланади.

Табиатда учрайдиган жисмлардан қорақуя абсолют қора жисмга яқинроқ. Лекин, у ҳам фақат 90...96 % нурланган энергияни юта олади. Тушаётган нурланган энергияни ўта силлиқланган, ёруғ юзаларгина тўлиқроқ қайтариш қобилиятига эга. Кўпчилик қаттиқ жисмлар шаффоф эмас жисмлар турига киради. Аммо, ҳамма газлар (кўп атомли газлардан ташқари) шаффоф бўлади.

Иссиқлик нурланиш қонуниятлари Стефан-Больцман, Кирхгоф ва Ламберт қонунлари билан ифодаланади.

Стефан-Больцман қонуни жисмнинг нур чиқариш қобилияти E ва жисмдан 1 соат мобайнида F юзасидан ажралиб чиқаётган иссиқлик миқдори Q орасидаги боғлиқликни ифодалайди:

$$E = \frac{Q}{F \cdot \tau} \quad (338)$$

Нурланиш энергияси тўлқин узунлиги ва жисмнинг температурасига боғлиқ бўлади. Абсолют қора жисмнинг нур тарқатиш қобилияти ва температураси орасидаги боғлиқлик ушбу формуладан топилади:

$$E_0 = K_0 T^4 \quad \text{ёки} \quad E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (339)$$

бу ерда $K_0 = (4,19...5,67) \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – абсолют қора жисмнинг нур чиқариш константаси; $C_0 = K_0 \cdot 10^8 = 4,19...5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

(339) формула Стефан - Больцман қонунининг ифодаси бўлиб, Планк тенгламасининг хосиласидир.

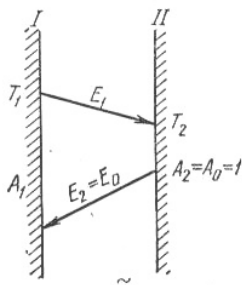
Стефан - Больцман қонунини абсолют қора бўлмаган жисмлар учун ҳам қўллаш мумкин. Масалан, кул ранг жисмлар учун қуйидаги кўринишга эга:

$$E = \varepsilon \cdot C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (340)$$

бу ерда $\varepsilon = C/C_0$ – кул ранг жисмнинг қоралик даражаси ёки унинг нур чиқариш коэффициенти; C_0 – кул ранг жисмнинг нур чиқариш коэффициенти.

Кул ранг жисмнинг нур чиқариш коэффициенти ҳар доим 1 дан кичик бўлиб, 0,055...0,95 оралиқда ўзгаради.

Кирхгоф қонуни кул ранг жисмларнинг нур тарқатиш ва уни ютиш қобилиятлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.



116-расм. Кирхгоф қонунига оид схема.

$$Q_{\text{ай}}/Q_{\text{нур}} = Q_{\text{н}}/Q_{\text{нур}} = 1.$$

Бир-бирига параллел жойлашган, кул ранг I ва абсолют қора II жисмларни кўриб чиқамиз (116-расм).

Кул ранг жисмнинг ютиш қобилиятини A_1 , абсолют қора жисмникини эса $A_2 = A_0 = 1$. Кул ранг жисм температураси абсолют қораникидан катта, яъни $T_1 > T_2$ деб қабул қиламиз. Бунда, кул ранг жисмдан нурланиш усулида узатилган иссиқлик

миқдори қуйидагича аниқланади:

$$q = E_1 - E_0 A_1 \quad (341)$$

Иккала жисмнинг температураси тенглашганда, иссиқлик мувозанат ҳолати юзага келади ва $q = 0$ бўлади.

Демак:

$$E_1 - E_0 A_1 = 0 \quad (342)$$

бундан

$$\frac{E_1}{A} = E_0 \quad (343a)$$

Ушбу хулосани умумлаштириб, бир нечта параллел жойлаштирилган жисмлар учун ушбу ифодани келтириб чиқарамиз:

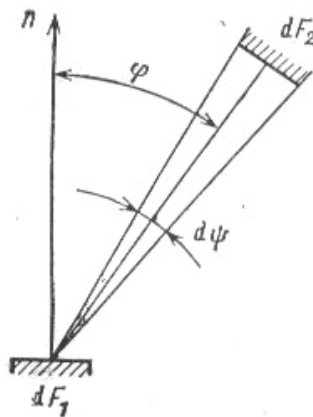
$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = \frac{E_n}{A_n} = \frac{E_0}{A_0} = f(T) \quad (344b)$$

(344) тенглама Кирхгоф қонунини характерлайди. Ушбу тенгламага биноан, маълум бирор температура учун исталган бир жисмнинг нур тарқатиш қобиляти, унинг нур ютиш қобилятига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, абсолют қора жисмнинг нур тарқатиш қобилятига тенгдир.

Ламберт қонуни турли йўналишларда нурланиш интенсивлиги ўзгаришини ифодалайди ва ушбу кўринишда ёзилади:

$$dQ = \frac{1}{\pi} E d\psi \cdot \cos \varphi \cdot dF_1 \quad (345)$$

бу ерда $d\psi$ - dF_1 элементдан dF_2 элемент кўриниши мумкин бўлган фазовий бурчак; φ - dF_1 ва dF_2 ни бирлаштирувчи тўғри чизиқ ва dF_1 га ўтказилган нормал орасида ҳосил бўлган бурчак (117-расм).



117-расм. Ламберт қонунига оид схема.

Ушбу қонунга биноан, жисмнинг нормал йўналишида нур тарқатиш қобиляти жисмнинг тўла нур тарқатиш қобилятидан π марта кам бўлади.

Икки параллел жойлаштирилган жисмлар ўртасидаги нурланиш жараёнида узатишган иссиқлик миқдори Стефан - Больцман қонуни асосида келтириб чиқарилган формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad (346)$$

бу ерда Q_{1-2} – 1-жисмдан 2- сига узатилаётган иссиқлик миқдори; C_{1-2} – 1-ва 2- жисмлардан иборат системанинг келтирилган нур тарқатиш коэффиценти; F – жисмнинг нур тарқатиш юзаси.

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0}} \quad (347)$$

Агар, бир жисм иккинчисини бутунлай ўраб олган холларда ($F=F_1$, бу ерда F_1 - ўралиб турган жисм юзаси) 4.48 формуладан фойдаланса бўлади. Келтирилган нур тарқатиш коэффициентини эса, ушбу формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)} \quad (348)$$

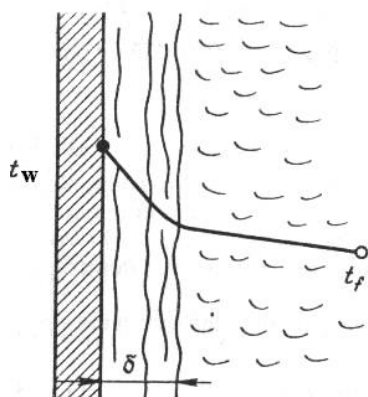
Конвектив иссиқлик алмашиниш

Суюқлик массаси турбулентлиги қанчалик юқори ва унинг заррачалари жадал равишда аралаштирилса, конвекция усулида иссиқлик алмашиниш шунчалик интенсив булади. Шундай қилиб, конвектив иссиқлик алмашиниш, иссиқликнинг механик узатилиши ва суюқлик ҳаракати гидродинамикасига қаттиқ боғлиқдир.

Иссиқлик алмашиниш жараёнида қатнашаётган суюқлик икки қатламдан ташкил топган, яъни чегаравий қатлам ва оқим ўзаги (ядроти) дан.

Оқим ўзаги иссиқлик ўтиш вақтининг ўзида ҳам конвекция, ҳам иссиқлик ўтказувчанлик усулларида амалга ошади. Бундай иссиқлик алмашиниш **конвектив иссиқлик алмашиниш** дейилади (118-расм).

Иссиқликнинг қаттиқ жисм юзасидан суюқлик (ёки газ) га ёки суюқлик (ёки газ) дан қаттиқ жисм юзасига ўтиши **иссиқлик бериш** деб номланади.



118-расм. Конвектив иссиқлик алмашиниш схемаси.

Девор юзасидан чегаравий қатлам орқали энергия иссиқлик ўтказувчанлик усули билан ўтади. Чегаравий қатламдан эса, суюқлик ўзагига энергия асосан конвекция усулида узатилади. Иссиқлик энергиясининг девор юзасидан суюқликка узатилиш жараёнига оқимнинг ҳаракат режими катта таъсир қилади.

Конвектив иссиқлик алмашиниш асосан 2 хил бўлади, яъни **эркин** (ёки **табiiй**) ва **мажбурий** конвекция.

Суюқлик ҳажмининг турли нуқталаридаги зичликларнинг фарқи туфайли рўй берадиган иссиқлик алмашинишга **эркин конвекция** дейилади. Бу жараёнга суюқликнинг физик хоссалари, унинг ҳажми, совуқ ва иссиқ заррачалари орасидаги температуралар фарқи катта таъсир кўрсатади.

Бутун суюқлик ҳажмининг ташқи кучлари таъсири натижасида рўй берадиган иссиқлик алмашинишга **мажбурий конвекция** дейилади. Суюқликнинг ҳаракати насос, аралаштиргич, вентиляторлар ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Бу жараёнга суюқликнинг физик хоссалари, унинг тезлиги, каналнинг шакли ва ўлчамлари салмоқли таъсир этади.

Суюқликнинг турбулент ҳаракат режимида ламинар режимдагига қараганда иссиқлик алмашиниш анча интенсив бўлади.

Ньютон қонуни

Иссиқлик беришнинг асосий қонуни – бу Ньютоннинг совитиш қонунидир.

Иссиқлик алмашилиш юзаси ва суюқлик (газ) ёки суюқлик (газ) ва иссиқлик алмашилиш юзаси орасида энергия ўтишига **иссиқлик бериш** деб номланади. Иссиқлик бериш жараёни иссиқлик бериш коэффиценти α билан белгиланади. Ушбу қонунга биноан, иссиқлик алмашилиш суюқлик (газ) га узатилган иссиқлик миқдори dQ , деворнинг юзаси dF , юза t_w ва мухит температуралари t_f нинг фарқи $(t_w - t_f)$, ҳамда жараённинг давомийлиги $d\tau$ га тўғри пропорционалдир, яъни:

$$\left. \begin{aligned} dQ &= \alpha (t_w - t_f) \cdot dF \cdot d\tau \\ dQ &= \alpha (t_f - t_w) \cdot dF \cdot d\tau \end{aligned} \right\} \quad (349)$$

(349) тенгламадан иссиқлик бериш коэффицентининг ўлчов бирлигини келтириб чиқариш мумкин:

$$\alpha = \left[\frac{dQ}{(t_w - t_f) dF d\tau} \right] = \left[\frac{Ж}{м^2 \cdot соат \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$$

Агар, иссиқлик алмашилиш юзаси бўйлаб иссиқлик бериш коэффицентининг қиймати ўзгармас ($\alpha = \text{const}$) бўлса, (350) тенглама ушбу кўринишни олади:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha (t_w - t_f) \cdot F \cdot \tau \\ Q &= \alpha (t_f - t_w) \cdot F \cdot \tau \end{aligned} \right\} \quad (350)$$

Демак, иссиқлик бериш коэффиценти α деворнинг 1 м^2 юзасидан суюқликка 1 с вақт давомида, девор ва суюқлик температураларининг фарқи 1 К бўлганда узатилган иссиқлик миқдорини билдиради. Ушбу, иссиқлик бериш коэффицентининг миқдори бир нечта параметрларга боғлиқдир, яъни суюқликнинг ҳаракат режими w , унинг зичлиги ρ , қовушоқлиги μ , солиштирма иссиқлик сиғими c , иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти λ , ҳажмий кенгайиш коэффиценти β , деворнинг шакли ва ўлчамлари (труба диаметри d ва узунлиги L), ҳамда ғадир-будурлиги e ва хоказоларга.

Юқорида айтилганларни қуйидаги функция ҳолатида ёзиш мумкин:

$$\alpha = f(w, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, e, \dots) \quad (351)$$

Умумий кўринишга эга бўлган иссиқлик бериш коэффиценти тенгламаси кўринишидан содда бўлса ҳам, α ни аниқлаш жуда мураккаб. Чунки, (351) дан кўришиб турибдики, α жуда кўп параметрларга боғлиқ. Шунинг учун, тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида умумлаштириш йўли билан иссиқлик бериш коэффицентини ҳисоблаш критериял формуласини келтириб чиқариш мумкин.

Иссиқлик бериш коэффицентини аниқлаш учун суюқликда температура тақсимланишини билиш зарур. Ундан ташқари, иссиқлик алмашилиш жараёнини ҳисоблаш учун иссиқлик бериш коэффицентини ўзгарувчи параметрлар билан боғлиқ тенгламасига эга бўлиши керак.

Бундай тенглама бўлиб конвектив иссиқлик алмашилишнинг дифференциал тенгламаси хизмат қилади. Лекин, ушбу тенглама девор ва суюқлик чегарасидаги шартларни характерловчи тенглама билан тўлдирилган бўлиши керак.

Конвектив иссиқлик алмашилинишнинг дифференциал тенгламаси (Фурье - Кирхгоф тенгламаси)

Маълумки, конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнида суюқликда иссиқлик ҳам, иссиқлик ўтказувчанлик, ҳам конвекция усулларида узатилади.

Иссиқлик ўтказувчанлик (351) тенглама билан ифодаланади ва ушбу кўринишга эга:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

Ушбу тенгламанинг чап томонидаги нисбат суюқлик (газ)дан ажратиб олинган кўзгалмас элемент температурасининг локал (махаллий) ўзгаришини ифодалайди.

Конвектив иссиқлик алмашилишда ушбу элемент суюқликнинг бир нуқтасидан иккинчисига кўчади. Бу ҳолатдаги элементнинг температура ўзгариши субстанционал хосила ёрдамида ифодаланиши мумкин. Агар, элементнинг фазодаги x, y, z ўқлар бўйича кўчишини w_x, w_y, w_z деб белгиласак, унда элемент температурасининг тўлиқ ўзгаришини характерловчи субстанционал хосила қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z \quad (352)$$

(352) тенгликдаги $\partial t / \partial \tau$ температуранинг локал (махаллий) ўзгариши, қолган кўшилувчилар йиғиндиси эса - температуранинг конвектив ўзгаришини ифодалайди.

Агар, (352) тенгламанинг температурадаги локал ўзгаришини тўлиқ ўзгаришига (353) алмаштирсак, Фурье - Кирхгофнинг конвектив иссиқлик алмашилишнинг дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (353)$$

Ушбу тенглама ҳаракатдаги суюқликда иссиқлик энергиясининг бир вақтда иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция усулларида узатилишининг математик ифодаси. Конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнини тўла математик ифодалаш учун (353) тенглама девор юзаси ва ҳаракатдаги суюқлик чегарасидаги шароитларни характерловчи тенглама билан тўлдирилиши зарур.

Маълумки, ҳаракатланувчи суюқликда жойлашган қаттиқ жисм юзасида ҳар доим δ қалинликка эга чегаравий қатлам мавжуд бўлиб (4.11-расм), у орқали иссиқлик энергияси иссиқлик ўтказувчанлик усулида тарқалади. Чегаравий қатлам орқали суюқлик оқимининг ўзагига узатилган иссиқлик миқдори Фурье қонуни асосида топилади:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau$$

ўтган dQ иссиқлик миқдорини Ньютон қонуни ёрдамида ҳам ҳисобласа бўлади:

$$dQ = \alpha (t_w - t_f) dF d\tau$$

Охириги икки тенгламанинг ўнг қисмларини тенглаштириб, «девор-суюқлик»

чегара шароитларини характерловчи тенгламани оламир:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha (t_w - t_f) \quad (354)$$

(353) ва (354) тенгламалар конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнини тўлиқ ифодалайди.

118-расмдан кўриниб турибдики, энг катта температура градиенти чегаравий қатламда ҳосил бўлиб, иссиқлик бериш жараёнининг интенсивлигини, асосан, унинг термик қаршилиги белгилайди.

17- Мавзу. Конвектив иссиқлик алмашилишнинг ўхшашлик критерий ва тенгламалари

Маълумки, юқорида келтириб чиқарилган (353) ва (354) тенгламалар мураккаб конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнларини ифодалайди.

Ушбу тенгламаларни амалда учрайдиган жараёнларга қўллаш мумкин эмас, чунки ечимини топиш қийин.

Иссиқлик алмашилиш жараёнларини амалий ҳисоблашда ўхшашлик назарияси усуллари ёрдамида (353) ва (354) тенгламалардан келтирилиб чиқарилган критериял тенгламалари кенг миқёсида ишлатилади.

Агар, (354) тенгламанинг иккала қисмини чап қисмига бўлсак, ушбу ўлчамсиз комплексни олиш мумкин:

$$\frac{\alpha (t_w - t_f) \partial n}{\lambda \partial t} = \frac{\alpha \cdot \Delta t \partial n}{\lambda \partial t} \quad (355)$$

Олинган ўлчамсиз комплексда дифференциялаш белгиларини ўчириб, n ни l га алмаштириб ва қисқартириш йўли билан **Нуссельт сонини** оламир:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda} \quad (356)$$

бу ерда α - иссиқлик бериш коэффициентини, Вт/(м²·К); l – геометрик ўлчам, м; λ - мухитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини, Вт/(м·К).

Нуссельт критерийси девор ва суюқлик ўртасидаги чегарада иссиқлик алмашилиш жараёни интенсивлигини характерлайди.

Ушбу критерий чегаравий қатлам қалинлиги δ нинг аниқловчи геометрик ўлчам (труба учун унинг диаметри d) га нисбатини характерлайди.

Конвектив иссиқлик алмашилишнинг дифференциал тенгламасидан:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \dots = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \dots \right)$$

унинг ҳамма қўшилувчиларини $a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$ га бўлиш йўли билан ушбу ўлчамсиз комплексни олиш мумкин:

$$\frac{\partial t \partial x^2}{\partial \tau a \partial^2 t} \quad \text{ва} \quad \frac{\partial t w_x \partial x^2}{\partial x a \partial^2 t}$$

Дифференциаллаш белги ва йўналишларини ўчириш ва қисқартириш йўли билан Фурье критерийсини :

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2} \quad (357)$$

ва Пекле критерийсини

$$Pe = \frac{wl}{a} \quad (358)$$

келтириб чиқарамиз.

Фурье критерийси нотурғун иссиқлик алмашиниш жараёнида температура майдонининг ўзгариш тезлиги, мухитнинг ўлчами ва физик катталиклари ўртасидаги боғлиқликларни характерлайди.

Пекле критерийси суюқлик оқимида конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари билан иссиқлик тарқалиш нисбатини характерлайди.

Одатда, Пекле критерийси иккита ўхшашлик критерийларининг кўпайтмаси кўринишида келтирилади:

$$Pe = \frac{wl}{a} = \frac{wl}{v} \cdot \frac{v}{a} = Re \cdot Pr$$

Прандтл критерийси суюқлик қовушоқлиги ва температура ўтказувчанлиги хоссаларининг нисбатини ифода этади. Ушбу критерий фақат суюқликларнинг диффузион – иссиқлик параметрлари ёрдамида аниқланади:

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu}{a\rho} = \frac{\mu g}{a\gamma} \quad (359)$$

Грасгоф критерийси табиий конвекция жараёнидаги суюқлик оқимининг гидродинамик режимини характерлайди:

$$Gr = \frac{gl^3}{v^2} \beta \cdot \Delta t \quad (360)$$

бу ерда Δt – девор ва суюқликлар ўртасидаги температуралар фарқи, К; β - суюқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти; g – эркин тушиши тезланиши, м/с².

Айрим ҳолларда Нуссельт критерийси ўрнига конвектив иссиқлик алмашиниш критерийси, Стентон критерийсини, ҳам қўллаш мумкин:

$$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{c_p \rho w} \quad (361)$$

Ушбу критерий иссиқлик бериш интенсивлигини суюқлик иссиқлик оқимида нисбатини аниқлайди.

Юқорида келтириб чиқарилган ўхшашлик критерийлари конвектив иссиқлик алмашинишнинг ўхшашлик тенгламасини аниқлаш имконини беради:

$$f(Re, Nu, Pr, Fo, Gr) = 0 \quad (362)$$

Ушбу тенгламада фақат Нуссельт **Nu** сони аниқловчи бўлганлиги учун, (362) тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr, Fo) \quad (363)$$

Иссиқлик алмашиниш жараёнининг аниқ масалаларини ечишда (363) тенгламани анча соддалаштириш мумкин.

Турғун иссиқлик алмашиниш жараёнида тенгламадан **Fo** критерийси туширилиб қолдирилади ва ушбу кўринишни олади:

$$Nu = f(Re, Pr, Gr) \quad (364)$$

Суюқликнинг мажбурий харакати даврида табиий конвекцияни инобатга олмаса ҳам бўлади ва унда тенглама **Gr** критерийси киритилмайди:

$$Nu = f(Re, Pr) \quad \text{ёки} \quad Nu = A Re^n \cdot Pr^m \quad (365)$$

Суюқликнинг эркин харакати (табиий конвекция) даврида тенгламадан Рейнольдс критерийси тушуриб қолдирилади:

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad \text{ёки} \quad Nu = A Gr^n \cdot Pr^m \quad (366)$$

Эркин конвекция даврида иссиқлик бериш

Маълумки, иссиқ ва совуқ суюқлик қатламлари зичликларининг фарқи таъсири остида эркин конвекция мавжуд бўлади. Зичликларнинг ушбу фарқи, девор ва суюқлик температуралар фарқига боғлиқдир. Девор шаклининг жараёнга таъсири иккиламчи бўлгани учун, иссиқлик беришнинг ўхшашлик тенгламаси ушбу кўринишда ёзилади:

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (367)$$

бу ерда **c** ва **n** - суюқлик харакати режимига, яъни **Gr·Pr** га, боғлиқ бўлган константалар.

4-3 жадвал

Режимлар	c	N
Ламинар (Gr·Pr ≤ 10 ⁻³)	0,45	0
(Gr·Pr = 10 ⁻³ ... 5·10 ²)	1,18	0,125
ўтиш (Gr·Pr = 5·10 ² ... 2·10 ⁷)	0,54	0,25
Турбулент (Gr·Pr > 2·10 ⁷)	0,135	0,33

Грасгоф критерийсида аниқловчи геометрик ўлчам сифатида қуйидагилар қабул қилинган: цилиндрик ва сферик жисмлар учун – диаметр; текис плиталар учун – баландлик.

Аниқловчи температура - чегаравий қатламнинг ўртача температураси **t = 0,5·(t_w+t_f)** қабул қилинган. Бу ерда **t_w** – девор температураси, **t_f** - суюқлик ўзагидаги температура. Грасгоф критерийсидаги температуралар фарқи **Δt = t_w-t_f** формулада хисобланади.

Мажбурий конвекция даврида иссиқлик бериш

Труба ичида иссиқлик элткичнинг иссиқлик бериш коэффициенти қуйидаги тенгламалардан аниқланади:

турбулент режим учун (**Re > 10000**)

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (368)$$

ўтиш режими учун (**2320 < Re < 10000**)

$$Nu = 0,008 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (369)$$

ламинар режим учун (**Re ≤ 2320**)

$$Nu = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (370)$$

Трубалар ўраи мажбурий ҳаракатдаги кўндаланг иссиқлик элткич билан ювилиб турган шароитда иссиқлик бериш қуйидаги формулалар ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

$Re < 10^3$ бўлганда

$$Nu = 0,56 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (371)$$

$Re > 10^3$ бўлганда

$$Nu = 0,28 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (372)$$

Ушбу тенгламаларда аниқловчи геометрик ўлчам бўлиб, каналларнинг эквивалент диаметри ҳисобланади.

Nu , Re ва Pr критерийларидаги физик параметрлар суюқликнинг ўртача температурасида, Pr_g эса – деворнинг ўртача температурасида ҳисобланади.

$(Pr/Pr_g)^{0,25}$ иссиқлик оқими йўналиши ва температуралар фарқининг иссиқлик беришга таъсирини ҳисобга олувчи параметр.

Иссиқлик элткичнинг змеевикда ҳаракат қилганда иссиқлик бериш коэффиценти α ни (372) формуладан ҳисобланган қиймати змеевик ўлчамларини инобатга олувчи коэффицент χ га кўпайтирилади:

$$\chi = 1 + 3,54 \frac{d}{D} \quad (373)$$

бу ерда d – змеевик трубасининг ички диаметри, м; D – змеевик ўрамининг диаметри, м.

Ҳаво учун (4.70) формула қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (374)$$

чунки $Pr/Pr_g = 1$

Иссиқлик элткич халқасимон каналларда ҳаракат қилган даврида (масалан, “труба ичида труба” иссиқлик алмашиниш қурилмасида) иссиқлик бериш ушбу формуладан ҳисоблаб аниқланиши мумкин:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \left(\frac{D_u}{d_T} \right)^{0,45} \quad (375)$$

бу ерда d_T – ички трубанинг ташқи диаметри, м; D_u – ташқи трубанинг ички диаметри, м.

Иссиқлик элткич қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмасининг трубалараро бўшлиғида ҳаракат қилганда, иссиқлик бериш энг кенг тарқалган жараёндир. Ушбу ҳолатда иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги формуладан аниқланади:

$$Nu = C (Re^{0,6} \cdot Pr^{0,23} \cdot d_s) \quad (376)$$

бу ерда $C = 1,16$ ва $1,72$ қийматларга тенг бўлиши мумкин. Биринчи қиймат қурилмада кўндаланг сегмент тўсиқлар бўлмаган ҳол учун, иккинчи эса – сегмент тўсиқлар ўрнатилган ҳол учун.

Қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларида трубалар шахматли ёки

йўлакли қилиб жойлаштирилади.

Иссиқлик элткич оқими трубалар ўрамини ташқи томонидан ювиб ўтганда, иссиқлик бериш коэффиценти ушбу формуладан ҳисоблаб топилиши мумкин: трубаларнинг шахматли жойлашишида

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (376)$$

трубаларнинг йўлакли жойлашишида

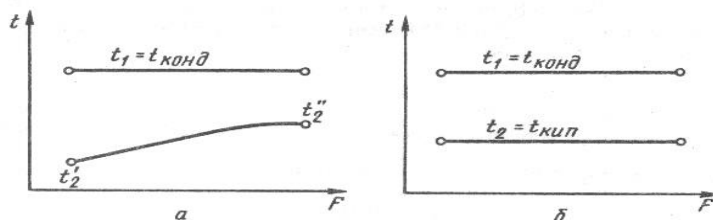
$$Nu = 0,27 \cdot Re^{0,63} \cdot Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_g} \right)^{0,25} \quad (377)$$

(376) ва (377) тенгламалар $Re = 200 \dots 2 \cdot 10^5$ бўлган ораликда қўлланилиши мумкин ва аниқ натижалар беради.

Иссиқлик элткичнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик бериш

Буғланиш, конденсацияланиш, кристалланиш ва эриш жараёнларида иссиқлик алмашилишнинг ўзига хос хусусиятлари шундаки, мухитдан иссиқликнинг олиниши ёки унга узатилиши ўзгармас температурада рўй беради ва иккала фазада тарқалади. 119 – расмда иссиқлик бериш жараёнида мухитнинг агрегат ҳолати ўзгариши билан температурасининг ўзгариш схемаси келтирилган.

Иссиқлик беришнинг бу ўзига хос хусусиятини конвек-тив иссиқлик алмашилишнинг критериал тенгламаси фазавий ўзгариш критерийси ёки



119-расм. Мухитнинг агрегат ҳолати ўзгариши билан иссиқлик элткич температурасининг ўзгариш схемаси:

конденсацияланиш критерийси $K = r/c \cdot \Delta t$ (бу ерда r – буғ ҳосил қилиш иссиқлиги, Ж/кг; c – солиштирма иссиқлик сиғими, Ж/кг·К)ни киритиш йўли билан ҳисобга олинади.

Сув буғининг конденсацияланиш пайтидаги иссиқлик алмашилишини ифодалаш учун ўхшашлик назарияси асосида келтирилиб чиқарилган қуйидаги критериал формуладан аниқлаш мумкин:

$$Nu = f(Ga, Pr, K) \quad (378)$$

бу ерда $Ga = g\beta/\nu^2$ – Галилей критерийси; K - фазавий ўзгариш критерийси; Pr – Прандтл критерийси.

Кўпгина тажриба натижаларини қайта ишлаш натижасида (378) формулани

қуйидаги кўринишда ёзса бўлади:

$$Nu = C(Ga, Pr, K)^{0,25} \quad (379)$$

Юпқа қатламли конденсацияланиш даврида иссиқлик беришни конденсат юпқа қатламининг қалинлигини чегаралайди. Бугнинг тезлиги юпқа қатламли конденсатни узиб олиш учун етарли бўлмайди ва бир хиллик шартларига кирмайди.

Юпқа қатламда конденсацияланишнинг умумлаштирилган тенгламасидаги **Re** ва **Fr** критерийлари ўрнига **Ga = Re²/Fr = gl³/v²** критерийси киритилади. Бунга сабаб, Галилей критерийсининг буғ - конденсат икки фазали оқимда оғирроқ фаза таъсир этувчи оғирлик кучларининг ўхшашлигини ифодалашидир. Ушбу ҳолатда конденсацияланиш пайтидаги иссиқлик бериш коэффициентни қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\alpha = C \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 g r}{\mu \cdot l \cdot \Delta t}} \quad (380)$$

Тўйинган буғнинг вертикал деворда конденсацияланиши ва конденсатни ламинар режимда юпқа қатламда оқиб тушиш ҳолати учун (380) формуладаги **C** коэффициентининг қиймати 2,04 эканлиги аниқланди. Аниқловчи ўлчам бўлиб, вертикал девор баландлиги **H** хизмат қилади. Унда, иссиқлик бериш коэффициентни **α** ни қуйидаги формуладан ҳисоблаш мумкин:

$$\alpha = 2,04 \sqrt[4]{\frac{r g^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta t \cdot H}} \quad (381)$$

бу ерда **r** – конденсацияланиш иссиқлиги, Ж/кг; **ρ** - конденсат зичлиги, кг/м³; **λ** - конденсат иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/м·К; **μ** - конденсатнинг динамик қовушоқлик коэффициенти, Па·с; **Δt = t_{конд} - t_г** - тўйинган буғ ва девор температуралари ўртасидаги фарқ, °С; **H** - вертикал труба ёки девор баландлиги, м. Конденсацияланиш иссиқлиги **r** нинг қиймати конденсация температурасидаги, конденсатнинг **λ**, **ρ** ва **μ** параметрлари **t_{юк} = 0,5(t_г + t_{конд})** да ҳисобланади.

Агар, буғ горизонтал трубада конденсацияланса, (381) формула ушбу кўринишда ёзилади:

$$\alpha = 0,72 \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \lambda^3 g}{\mu \cdot \Delta r \cdot D}} \quad (381)$$

бу ерда **D** – трубанинг ташқи диаметри, м.

Агар, буғ труба ўрамида конденсацияланса, ўртача иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш учун ушбу формулани қўллаш мумкин:

$$\alpha = 0,728 \varepsilon_t \sqrt[4]{\frac{r g \rho^2 \lambda^3}{\mu \Delta r D}} \quad (382)$$

бу ерда **ε_t** – трубаларнинг жойлаштирилиши (йўлакли ёки шахматли) га боғлиқ коэффициент.

$$\varepsilon_t = \left[\left(\frac{\lambda_g}{\lambda} \right)^3 \frac{\mu}{\mu_g} \right]^{0,125} \quad (383)$$

(383) даги **λ_г** ва **μ_г** лар конденсат тегиб турган девор температурасида ҳисобланади.

Мухандислик ҳисобларда **ε_t = 0,55...0,68** деб қабул қилиш мумкин.

Суюқликлар қайнаши пайтида иссиқлик бериш жуда мураккаб жараёндир. Амалиётда энг кенг тарқалган ва учрайдиган қайнаш тури – бу пуфакчали қайнаш режимидир. Ушбу режимдаги иссиқлик бериш коэффицентини аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланса бўлади:

$$Nu = 125 Re^{0,66} \cdot Pr^{0,33} \quad (384)$$

бу ерда $Nu = \alpha l / \lambda$; $Re = w l / \mu$; l – чизикли ўлчам бўлиб, пуфакча радиусининг функцияси, м; w – буг фазаси ҳаракатининг ўртача тезлиги, м/с;

Одатда пуфакчалар диаметри 2...3 мм бўлади ва уни ушбу формуладан ҳисоблаб топиш мумкин:

$$d_o = 0,02 \cdot \left[\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_\delta)} \right]^{0,5} \quad (385)$$

Охирги критериял тенгламадан эркин ва мажбурий конвекция шароитида пуфакчали қайнаш жараёнида α ни ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама келтириб чиқарилган.

$$\alpha = b \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda^2 \cdot q^2}{\nu \sigma T_{\text{кай}}}}$$

бу ерда $b = 0,075 + 0,75 (\rho_\delta / \rho - \rho_\delta)^{0,66}$ – ўлчамсиз коэффицент; ν – суюқликнинг кинематик қовушоқлиги, м²/с; σ – сиртий таранглик коэффиценти, Н/м.

Эркин конвекция шароитида пуфакчали қайнаш режимида α ни аниқлаш учун ушбу тенглама таклиф этилган:

$$\alpha = 7,77 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho_\delta}{\rho - \rho_\delta} \right)^{0,033} \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,033} - \frac{\lambda^{0,75} \cdot q^{0,7}}{\mu^{0,45} \cdot c^{0,12} \cdot T_{\text{муй}}^{0,37}} \quad (386)$$

бу ерда ρ_δ , ρ – буғ ва суюқликнинг зичликлари, кг/м³; σ – суюқлик ва буғни ажратиб турувчи чегарадаги сиртий таранглик, Н/м; λ – суюқликнинг иссиқлик ўтказувчанлиги, Вт/м·К; $q = Q/F$ – солиштирма иссиқлик юклама, Вт/м²; μ суюқлик қовушоқлиги, Па·с; c – суюқликнинг солиштирма иссиқлик сифими, Ж/(кг·К); $T_{\text{муй}}$ – тўйиниш температураси, К.

Катта ҳажмда сувнинг қайнаш жараёнида иссиқлик бериш коэффицентини тахминий ҳисоблаш учун қуйидаги формулани қўллаш мумкин:

$$\alpha = 2,72 \cdot q^{0,7} \cdot p_{\text{абс}}^{0,7} \quad (387)$$

$$\alpha = 2,72 \cdot q^{0,7} \cdot p^{0,4}$$

бу ерда p – босим, кг·к/см²

(387) формулани $q = 0,4 \cdot q_{\text{кр}}$ ва $p_{\text{абс}} = 0,2...10$ кг·к/см² бўлган ораликда ишлатиш мумкин.

4-4 жадвалда энг кўп учрайдиган иссиқлик алмашиниш жараёнларининг тахминий иссиқлик бериш коэффицентлари келтирилган.

4-4 жадвал

т/р	Иссиқлик алмашиниш жараёни	Иссиқлик бериш коэффиценти, Вт/(м ² ·К)
1.	Газларни иситиш ва совитиш (атмосфера босимида)	10...50

2.	Органик суюқликларни иситиш ва совитиш	50...1500
3.	Сувни иситиш ва совитиш	200...10000
4.	Сувнинг қайнаши	500...10000
5.	Сув буғларининг конденсацияланиши	4000...15000
6.	Органик суюқлик буғларининг конденсация-ланиши	500...2000

18- Мавзу: Иссиқлик ўтказиш

Иссиқлик алмашилиш жараёниларида кўпинча иссиқлик энергияси бир суюқликдан иккинчисига уларни ажратиб турувчи девор орқали узатилади. Температураси юқори бўлган суюқликка девор орқали иссиқликнинг узатилиши **иссиқлик ўтказиш** дейилади. Ушбу йўл билан узатилган иссиқлик миқдори иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидан аниқланади:

$$Q = K \Delta t_{yp} F \quad (389)$$

бу ерда K – иссиқлик ўтказиш коэффициентини, $Вт/(м^2 \cdot К)$; Δt_{yp} – иссиқлик ва совуқлик элткичлар температураларининг фарқи, $К$; F – ажратиб турувчи девор юзаси, $м^2$.

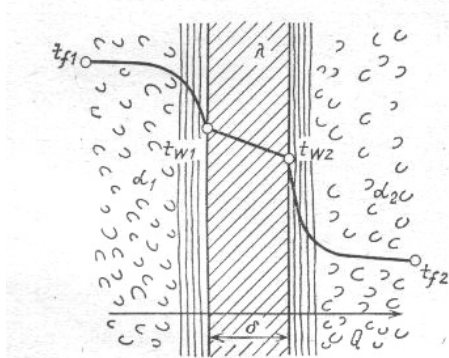
Текис деворнинг иссиқлик ўтказиши. 120-расмда қалинлиги δ ва материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини λ бўлган текис девор тасвирланган.

Деворнинг бир томонидан температураси t_{f1} (оқим ўзагида) бўлган иссиқлик элткич, иккинчи томонидан эса – температураси t_{f2} бўлган совуқлик элткич оқиб ўтмоқда.

Девор юзаларининг температураси t_{w1} ва t_{w2} . Иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 .

Турғун жараёнда F юза орқали биринчи иссиқлик элткич ўзагидан деворга узатилаётган иссиқлик миқдори, девордан ўтган ва девордан иккинчи иссиқлик элткич ўзагига узатилаётган иссиқлик миқдorigа тенг бўлади.

Ушбу иссиқлик миқдорини қуйидаги тенгламалардан топиш мумкин:



$$Q = \alpha_1 (t_{f1} - t_{w1}) \cdot F$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{w1} - t_{w2}) \cdot F$$

$$Q = \alpha_2 (t_{w2} - t_{f2}) \cdot F$$

Юқорида келтирилган тенгламалардан қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$t_{f1} - t_{w1} = \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F}$$

$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \quad (390)$$

120-расм. Текис девор орқали иссиқлик ўтказиш жараёнида температуранинг ўзгариш характери.

$$t_{w2} - t_{f2} = \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F}$$

Тенгламалар чап ва ўнг томонларини қўшиш натижасида, ушбу кўринишга эришамиз:

$$t_{f1} - t_{f2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (391)$$

бундан:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \cdot F \quad (392)$$

(391) ва (392) тенгламаларни солиштириб, қуйидаги формулага эришамиз:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (393)$$

бу ерда K – иссиқлик ўтказиш коэффиценти, Вт/(м²·К).

Унда, текис деворнинг иссиқлик элткичнинг ўзгармас температураларида иссиқлик ўтказиш тенгламаси ушбу кўринишни олади:

$$Q = KF\tau \cdot (t_{f1} - t_{f2}) \quad (394)$$

узлуксиз жараёнлар учун эса:

$$Q = KF(t_{f1} - t_{f2}) \quad (395)$$

(396) тенгламага биноан иссиқлик ўтказиш коэффицентининг ўлчов бирлиги:

$$K = \left[\frac{Q}{F\tau(t_{f1} - t_{f2})} \right] = \left[\frac{Ж}{м \cdot с \cdot К} \right] = \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$$

(396) тенгламадан

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (397)$$

Шундай қилиб иссиқлик ўтказиш коэффиценти K температураси юқори бўлган, иссиқлик элткичдан температураси паст элткичга вақт бирлигида ажратувчи деворнинг 1м² юзасидан элткичлар температураси 1К бўлганда ўтказилган иссиқликнинг миқдорини билдиради.

Иссиқлик ўтказиш коэффицентиға тескари бўлган катталиқ **термик қаршилиқ** деб номланади. $1/\alpha_1$ ва $1/\alpha_2$ лар иссиқлик беришнинг термик қаршилиғи бўлса, δ/λ деворнинг термик қаршилиғи. (397) тенгламадан кўриниб турибдики, иссиқлик ўтказишнинг термик қаршилиғи иссиқлик бериш ва деворнинг термик қаршилиқлар йиғиндисига тенг.

Деворнинг термик қаршилиғини аниқлашда, унга ўтириб қолган ифлосларнинг термик қаршилиғини ҳам ҳисобга олиш зарур (4-5 жадвал).

$$r_{уфл} = \frac{\delta_{уфл}}{\lambda_{уфл}}$$

Кўп қатламли текис девордан иссиқлик ўтиш жараёнида ҳар бир қатламнинг термик қаршилиғи ҳисобга олиниши зарур. Бундай деворлар учун K ни қуйидаги

тенгламадан аниқлаш лозим:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (398)$$

бу ерда i - қатламнинг тартиб рақами; n - қатламлар сони.

Шуни алоҳида таъкидлаш керакки, ҳар доим иссиқлик ўтказиш коэффициентини энг минимал иссиқлик бериш коэффициенти қийматидан кичик бўлади.

Ғифл. нинг тахминий қийматлари

4-5 жадвал

т/р	Иссиқлик элткич	$r_{\text{ифл}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$
1.	Сув	
	- дистилланган	0,00009
	- денгиз	0,00009
	- сифатли кудуқ, кўл, водопровод, дарё суви	0,00018
	- $w < 0,9$ м/с	0,00035
	- $w > 0,9$ м/с	0,00018
	- ифлосланган дарё суви	
	- $w < 0,9$ м/с	0,00053
	- $w > 0,9$ м/с	0,00035
2.	Нефть маҳсулотлари	
	- хом-ашё	0,00009
	- тоза (шу жумладан минерал мойлар)	0,00018
3.	Органик суюқликлар, тузли эритмалар, совуқлик элткичлар (NH_3 , фреонлар ва хоказо.)	0,00018
4.	Сув буғи	0,00018
5.	Буғлар	
	- органик суюқликники	0,00009
	- совуқ элткичларники	0,00035
6.	Хаво	0,00035

Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказиши. Маълумки, саноатнинг турли соҳаларида иссиқлик алмашиниш труба орқали ўтади (4.7-расм). Трубадан температураси t_1 бўлган суюқлик ҳаракат қилса, ташқарисидан эса – t_2 температурали суюқлик оқиб ўтсин, яъни $t_1 > t_2$ дан. Температураси юқори суюқликдан труба ички деворига иссиқлик бериш коэффициенти α_1 , ташқи юзасидан совуқ суюқликка иссиқлик бериш коэффициенти - α_2 , труба баландлиги L , ички радиуси r_1 ва ташқи радиуси r_2 бўлса, цилиндрик юзадан узатилган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$Q = K_R 2\pi\tau \cdot (t_1 - t_2) \quad (399)$$

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти K ни эса ушбу тенгламадан топилади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda} 2,3 \lg \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot r_2}} \quad (400)$$

бу ерда K_R – иссиқлик ўтказишнинг чизикли коэффициент, Вт/(м·К).

K нинг K_R дан фарқи шундаки, K деворнинг юза бирлигига нисбатан олинса, иккинчиси K_R – труба узунлигининг бирлигига нисбатан олинади.

Иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч

Иссиқлик алмашиниш жараёнларининг ҳаракатга келтирувчи кучи – иссиқлик элткичларнинг температуралар фарқи. Ушбу фарқ таъсири остида иссиқлик температураси юқори мухитдан температураси паст мухитга ўтади.

Ўзгармас температурада иссиқлик ўтказиш жараёни жуда кам тарқалган. Бундай жараёнлар, бир томонида буғ конденсацияланса, иккинчисидан эса, суюқлик қайнаши рўй беради. Лекин, саноатда кўпчилик жараёнлар иссиқлик элткичларнинг ўзгарувчи температураларида содир бўлади.

Одатда температура иссиқлик элткичларни ажратиб турувчи девор юзаси F бўйлаб ўзгаради. Лекин, вақт ўтиши билан иссиқлик элткичнинг температураси ўзгармаслиги мумкин ва у $t = f(F)$ функция билан ифодаланади. Бундай ҳол турғун иссиқлик алмашиниш жараёнини характерлайди.

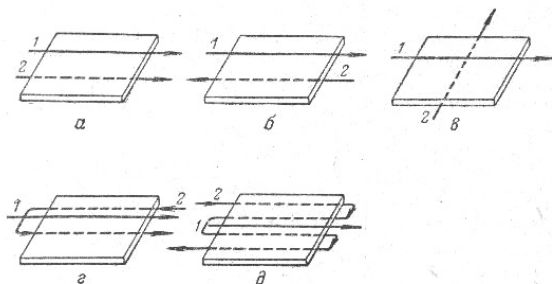
Нотурғун иссиқлик алмашиниш жараёнларида 2 ҳолат бўлиши мумкин:

- девор юзасининг ҳар бир нуқтасида температура фақат вақт ўтиши билан ўзгаради, яъни $t = f(\tau)$;

- иссиқлик элткичнинг температураси вақт ўтиши ва девор юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни $t > f(\tau, F)$.

Ўзгарувчан температурада иссиқлик ўтказиш суюқликларнинг ҳаракат йўналишига боғлиқдир.

Узлуксиз ишлайдиган қурилмаларда иссиқлик алмашиниш жараёнида суюқликлар ҳаракати параллел, қарама-қарши, кесишиб ўтган ва мураккаб (аралаш) йўналишли бўлиши мумкин (121-расм).



121-расм. Иссиқлик алмашиниш жараёнида суюқликларнинг ҳаракат йўналишлари

а - параллел; б - қарама - қарши; в - кесишиб ўтган; г, д - аралаш.

Ажратиб турувчи девор бўйлаб бир - бирига нисбатан суюқликлар ҳаракатининг қуйидаги вариантлари бўлиши мумкин:

1) параллел ҳаракатда (121а-расм) иккала иссиқлик элткичлар ҳам бир хил йўналишда ҳаракат қилади;

2) қарама-қарши ҳаракатда (121б-расм) иссиқлик элткичлар бир-бирига қарши

йўналишда ҳаракат қилади;

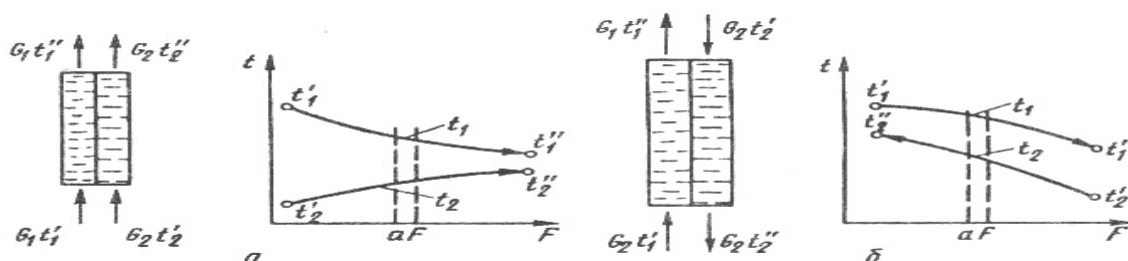
3) кесишиб ўтувчи ҳаракатда (121в-расм) иссиқлик элткичлар бир-бирига нисбатан перпендикуляр йўналишда ҳаракат қилади;

4) мураккаб ёғи аралаш ҳаракатда (121г, д-расм) биринчи иссиқлик элткич бир йўналишда ҳаракат қилса, иккинчиси ҳам тўғри, ҳам тескари йўналишда ҳаракат қилади.

Ўзгарувчан температурали жараёнларда иссиқлик элткичларнинг ўзаро ҳаракат йўналишига қараб, иссиқлик алмашилиш жараёнининг ҳаракатга келтирувчи кучи ўзгаради. Шунинг учун, иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасидаги ўртача ҳаракатга келтирувчи куч суюқликларнинг бир-бирига нисбатан ҳаракат йўналишига ва жараёни ташкил этилишга боғлиқ бўлади.

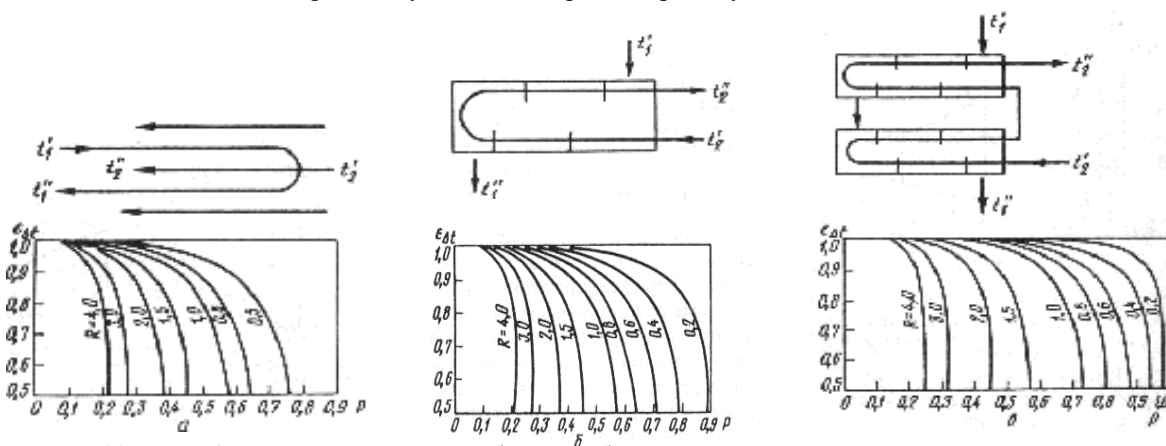
122-расмда параллел ва қарама - қарши йўналишли ҳаракатлар пайтида иссиқлик элткичлар температураларининг ўзгариши тасвирланган. Иссиқлик элткичлардан бири G_1 совутилганда температураси t_1' дан t_1'' гача пасаймоқда, иккинчиси эса G_2 , иситилганда t_2' дан t_2'' гача кўтарилмоқда.

123-расмда қобик - трубаги иссиқлик алмашилиш қурилмаларида тез-тез



122-расм. Иссиқлик элткичлар температураларининг ўзгариш схемаси.

а - параллел йўналиш; б - қарама - қарши йўналиш.



123-расм. Аралаш йўналишли қобик - трубаги иссиқлик алмашилиш қурилмасида иссиқлик элткичларнинг ҳаракат схемаси ва $\epsilon \Delta t$ коэффициенти:

а - трубалараро бўшлиғи бир ва трубалар бўшлиғи эса икки, тўрт, олти ва ундан ортиқ йўлли; б - кўндаланг тўсиқли трубалараро бўшлиғи бир ва трубалар бўшлиғи икки, тўрт, олти ва ортиқ йўлли; в - кўндаланг тўсиқли трубалараро бўшлиғи икки ва трубалар бўшлиғи тўрт йўлли.

учраб турадиган аралаш йўналишли суюқликлар ҳаракат схемалари келтирилган.

123-расмдан кўриниб турибдики, иссиқлик алмашилиш жараёнида икки иссиқлик элткичлар орасидаги ҳаракатга келтирувчи куч миқдори девор юзаси бўйлаб ўзгармоқда. Масалан, иссиқлик элткичларнинг қурилмага киришда, параллел йўналишда (123а-расм) локал ҳаракатга келтирувчи куч максимал қийматга эга: $\Delta t_{max} = t_1' - t_2'$, қурилмадан чиқишда эса, минимал $\Delta t_{min} = t_1'' - t_2''$. Қарама-қарши йўналишли ҳаракатда ҳам худди шундай натижага эга бўламиз. Шунинг учун иссиқлик алмашилиш жараёни хисоблашда ўртача ҳаракатга

келтирувчи кучдан фойдаланилади.

Иссиқлик алмашиниши юзасининг чексиз кичик элементида вақт бирлигида иссиқ элткичдан совуқ элткичга узатилаётган иссиқлик миқдори (123а-расм) ушбу тенгламадан аниқланади: $dQ = K(t_1 - t_2)dF$. Иссиқлик алмашиниш оқибатида иссиқ элткичнинг температураси $dt_1 = -dQ/(G_1 c_1)$ га пасаяди, совуқ элткичнинг температураси эса $dt_2 = -dQ/(G_2 c_2)$ га кўтарилади, бу ерда G_1 ва G_2 иссиқ ва совуқ элткичларнинг массавий сарфи; c_1 ва c_2 - иссиқ ва совуқ элткичларнинг солиштирма иссиқлик сиғимлари. Иссиқлик элткичлар температурасининг ўзгаришини топиш учун биринчи тенгламадан иккинчисини айириш керак:

$$d(t_1 - t_2) = -dQ \left(\frac{1}{G_1 \cdot c_1} - \frac{1}{G_2 \cdot c_2} \right) \quad (401)$$

Агар, иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасининг dQ қийматини (401)га қўйсак ушбу ифодага эга бўламиз:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -K \left(\frac{1}{G_1 c_1} + \frac{1}{G_2 c_2} \right) dF \quad (402a)$$

F юзали иссиқлик алмашиниш қурилмасида вақт бирлигида иссиқлик элткичдан совуқига ўтган иссиқлик миқдори Q , иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$Q = G_2 c_2 (t'_1 - t''_1) = G_2 c_2 (t''_2 - t'_2) \quad (403)$$

(403) тенгламадаги $G_1 c_1$ ва $G_2 c_2$ ларнинг қийматларини (402a) га қўйсак, ушбу кўринишни оламиз:

$$\frac{d(t_1 - t_2)}{t_1 - t_2} = -\frac{K}{Q} [(t'_1 - t''_1) + (t''_2 - t'_2)] \cdot dF \quad (404)$$

(404) тенгламани ўзгармас K да интегралласак:

$$Q = KF \frac{(t'_1 - t'_2) - (t''_1 - t''_2)}{\ln \frac{t'_1 - t'_2}{t''_1 - t''_2}} \quad (405)$$

ёки:

$$Q = KF \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (406)$$

(405), (406) ва иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаларини солиштириш натижасида иссиқлик ўтиш жараёнининг ўртача ҳаракатга келтирувчи кучини топиш мумкин:

$$\Delta t_{yp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (407)$$

Ушбу ифода иссиқлик элткичларнинг қарама-қарши йўналишли ҳаракати учун ҳам тааллуқлидир.

Агар $\Delta t_{\max}/\Delta t_{\min} \leq 2$ ва иссиқлик элткичларнинг тезлиги кичик бўлганда, температураларнинг фарқи ўртача арифметик қилиб ҳисобланади:

$$\Delta t_{yp} = \frac{(\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min})}{2} \quad (408)$$

Бу формулада хисоблаганда, хатолик 5% дан ошмайди.

Иссиқлик элткичларнинг кесишиб ўтган ва аралаш йўналишли ҳаракатида ўртача ҳаракатлантирувчи куч ушбу формуладан аниқланади:

$$\Delta t_{yp} = \varepsilon_{\Delta t} \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (409)$$

бу ерда $\varepsilon_{\Delta t}$ - ўлчамсиз, коэффициент бўлиб, 4.16-расмдаги графиклардан топиш мумкин.

Графиклардаги P ва R катталиклар Боуман формуласидан топилади:

$$P = \frac{t_2'' - t_2'}{t_1' - t_2'}; \quad R = \frac{t_1' - t_1''}{t_2'' - t_2'}$$

Фойдаланилаги адабиётлар рўйхати

1. Н. Р. Юсупбеков , Ҳ. С. Нурмухаммедов, С.Г. Зокиров Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари. – Т.; "Шарқ", 2003.-644б.
2. Н. Р. Юсупбеков , Ҳ. С. Нурмухаммедов, П.Р Исматуллаев, С.Г. Зокиров, У. В. Маннонов. Кимё ва озиқ – овқат саноатларининг асосий жараён ва қурилмаларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш. – Тошкент, ТошКТИ, 2000. – 231 бет.
3. Н. Р. Юсупбеков , Ҳ. С. Нурмухаммедов, П.Р Исматуллаев Кимё ва озиқ – овқат саноатларининг асосий жараён ва қурилмалари фанидан ҳисоблар ва масалалар. - Тошкент, ТошКТИ, 1999. – 351 бет.
4. Салимов. З. Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари.: Олий ўқув юрти студентлари учун дарслик. Т.1.-Т.: Ўзбекистон, 1994.-366 б.
5. Салимов.З.Кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари ва қурилмалари. Т.2. Модда алмашиниш жараёнлари: Олий ўқув юртлари учун дарслик. – Т.: Ўзбекистон,1995.–238 б.
- 6.Юнусов И.И., Артиқов А.А., Исматуллаев И.Р. Кимё ва озиқ-овқат технологиясида ЭХМ ни қўллаш, ўқув қўлланма, Тошкент: ТКТИ, «НИСИМ». 2001.148 б.
7. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.Ҳ., Базаров М.Б. Электрон ҳисоблаш машиналарини кимё технологиясида қўллаш.Т."Фан".2010.392 б.
8. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии М.; Химия, 1985. 448с.
9. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. М. Химия. 1982.
10. Артиков А.А. Процессы и аппараты пищевых производств (математическое моделирование. теплообменные процессы, выпаривание),Ташкент, ўқитувчи, 1983
11. Кафаров В.В. и др. Системный анализ процессов химической технологии. Москва. Химия. 1988.
12. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. Москва. Химия. 1991.

13. И.Двореский С.И., Егоров А.Ф., Двореский Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования. Тамбов. ТГТУ, 2003.- 224 с.
14. Черноруский И.Г. Оптимизация в теории управления. С-Петербург, «Издательский дом Питер», 2003. -256 с.

Мундарижа

	КИРИШ	3
1-Мавзу	Гидростатика асослари	4
	Умумий тушунчалар	4
	Гидростатиканинг асосий тенгламаси	5
2-Мавзу	Гидродинамика. Асосий тушунчалар	9
	Оқимнинг узлуксизлик тенгламаси	11
	Суюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси	13
3-Мавзу	Оқимнинг ҳаркат ҳартенгламаси Ҳақиқий суюқлик оқими учун Бернулли тенгламаси	14
	Суюқлик ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси	16
	Суюқлик ҳаракати режимлари	20
	Ламинар ҳаракат қонунлари	22
	Турбулент ҳаракат режими	24
	Қовушоқ суюқлик ҳаракатининг критериал тенгламалари	26
4-Мавзу	Гидравлик қаршиликлар Труба қувурларидаги гидравлик қаршилик	28
	Труба қувурлари диаметрини ҳисоблаш	32
	Насадка ва тешиклар орқали суюқлик оқиб чиқиши	33
	Ўзгарувчан напорда суюқликнинг оқиб чиқиши	36
5-Мавзу	Ўхшашлик шартлари. Ўхшашлик теоремалари	38
	Ўхшашлик критерийлари	41
6-Мавзу	Қаттиқ жисмларнинг суюқликда ҳаракати	42
	«Қаттиқ жисм - суюқлик» системасида экстракциялаш	45
	Умумий тушунчалар	
	Эритиш жараёни статикаси ва кинетикаси	45
	Ишқорлаб ажратиш экстракторларининг конструкциялари	49
	Эриткичларни ҳисоблаш	52
7-Мавзу	Қўзғалмас ва мавхум қайнаш қатламлари гидродинамикаси	55
	Мавхум қайнаш жараёни асослари ва гидродинамикаси	59
	Оқимчали мавхум қайнаш	67
	Мавхум қайнаш қатламли қурилмалар	70
8-Мавзу	Насослар	72
	Насослар классификацияси	72
	Насосларнинг асосий параметрлари	72
	Марказдан қочма насослар	75
	Поршенли насослар	81
9-Мавзу	Насосларнинг махсус турлари	86
	Насосларни таққослаш	89
	Гидромеханик жараёнлар	90
10-Мавзу	Турли жинсли системалар классификацияси	91
	Ажратиш усуллари	91

11-Мавзу	Филтрлаш	93
	Филтрлаш жараёнининг назарий асослари	95
	Филтрлар	97
	Филтрлаш жараёнини интенсивлаш	103
12-Мавзу	Центрифугалаш тиндириш ва чўктириш оғирлик кучи таъсирида чўктириш	106
	Сиқик чўкиш тезлиги	109
	Суспензия концентрацияси ва заррачалар шаклининг чўкиш тезлигига таъсири	110
	Тиндириш ва чўктириш қурилмалари	113
13-Мавзу	Газларни тозалаш	119
	Оғирлик кучи таъсирида газларни тозалаш	120
	Инерцион ва марказдан қочма кучлар таъсирида газларни тозалаш	121
	Газларни ғовакли тўсиқларда тозалаш	123
14-Мавзу	Электр майдон таъсирида газларни тозалаш	128
	Газларни тозалаш жараёнини интенсивлаш	132
15-Мавзу	Аралаштириш	134
	Суюқликни аралаштириш усуллари	135
	Пластмассаларни аралаштириш	139
	Сочилувчан материалларни аралаштириш	140
	Аралаштириш мосламаларини ҳисоблаш	142
16-Мавзу	Иссиқлик алмашилиш жараёнлари. Иссиқлик ўтказиш	147
	Иссиқлик баланси	149
	Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси	152
	Теқис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	154
	Цилиндрик деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	156
	Шарсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги	157
	Иссиқлик нурланиши	160
	Конвектив иссиқлик алмашилишнинг дифференциал тенгламаси (Фурье - Кирхгоф тенгламаси)	165
17-Мавзу	Конвектив иссиқлик алмашилишнинг ўхшашлик критерий ва тенгламалари	166
	Эркин конвекция даврида иссиқлик бериш	168
	Иссиқлик элткичнинг агрегат ҳолати ўзгаришида иссиқлик бериш	170
18-Мавзу	Иссиқлик ўтказиш	173
	Иссиқлик алмашилиш жараёнларини ҳаракатга келтирувчи куч	176
	Фойдаланилагн адабиётлар рўйхати	180