



I

Ва қуръамавару
жараёнвара
асоси
технологияни
Қимёви
Э. Саидов

10
С-28

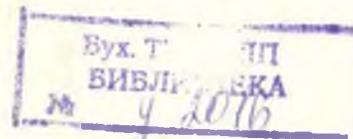
66
С-26

З. САЛИМОВ

КИМЁВИЙ
ТЕХНОЛОГИЯНИНГ
АСОСИЙ
ЖАРАЁНЛАРИ
ВА ҚУРИЛМАЛАРИ

I ТОМ

*Ўзбекистон Республикаси Олий ви
йрта махсус таълим вазирлиги олий
ўқув юртларининг «Кимёвий техно
логия» ихтисослиги бўйича таълим
олидиган студентлари учун дарслик
сифатида тавсия эгган*



ТОШКЕНТ
«ЎЗБЕКИСТОН»
1994

33.11
С 26

Тақризчилар:

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

Мухаррир Баҳром Акбаров

Салимов З.

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

ISBN 5-640-01336

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

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

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

33.11я73

2802000000-68
С $\frac{\quad}{\quad}$ 94
М 351(04) 94

© «ЎЗБЕКИСТОН» нашриёти — 1994

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

К И Р И Ш

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

— кимёвий информатика.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АСОСИЙ ҚОНУН-ҚОИДАЛАР

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

1.1-§. «ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР» ФАНИНИНГ МАЗМУНИ

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

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

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

маҳсулотларни ажратишда ва бошқа бир қатор ишлаб чиқаришда кўп фойдаланилади.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3-§. АСОСИЙ ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ТУРЛАРИ

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

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

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

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

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

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

гурухга абсорблаш, адсорблаш, суюкликларни хайдаш, экстракляш, кристалляш, курутиш жараёнлари киради. Жараёнларнинг тезлиги фазаларнинг гидродинамик харакатига боглик бўлиб, модда ўтказиш қонуниятлари билан ифодаланади. Модда алмашиниш жараёнларининг харакатлантирувчи кучи фазалардаги концентрацияларнинг фарқи билан белгиланади.

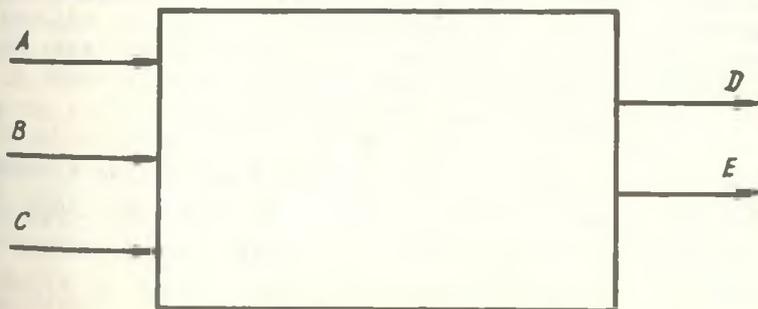
Кимёвий жараёнлар моддаларнинг ўзаро таъсири натижасида янги бирикмаларнинг ҳосил бўлишидир. Кимёвий реакцияларда иссиқлик ва модда алмашиниш жараёнлари ҳам содир бўлади. Бу гуруҳдаги жараёнларнинг тезлиги кимёвий кинетика қонуниятлари билан ифодаланади. Реакциялар тезлиги, айниқса, саноат микёсида, моддаларнинг гидромеханик харакатига, кимёвий жараёнларнинг харакатлантирувчи кучи эса реакцияга киришаётган моддаларнинг концентрациясига боглик бўлади.

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

1.4-§. МОДДА ВА ЭНЕРГИЯНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНЛАРИ

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

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



1.1- расм. Моддий баланс схемаси

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

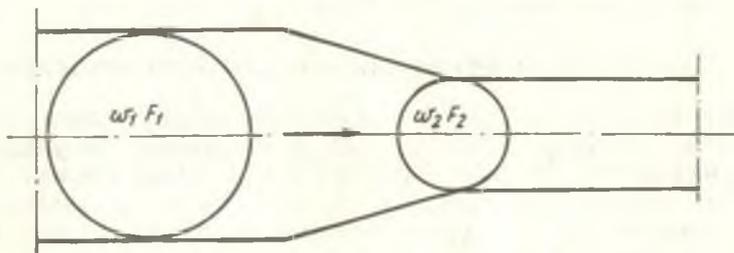
$$m_A + m_B + m_C = m_D + m_E \quad (1.1)$$

бу ерда m_A, m_B, m_C, m_D, m_E — A, B, C ва E компонентларнинг массаси.

(1.1) тенглама моддий балансни ифодалайди.

Ҳаракатдаги оқим учун модданинг сақланиш қонуни *узлуксизлик тенгламаси* орқали ифодаланади. Қурилманинг (1.2- расм) иккита қесими F_1 ва F_2 орқали ω_1 ва ω_2 тезлик билан ўтаётган оқим учун узлуксизлик тенгламаси қуйидагича ёзилади:

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

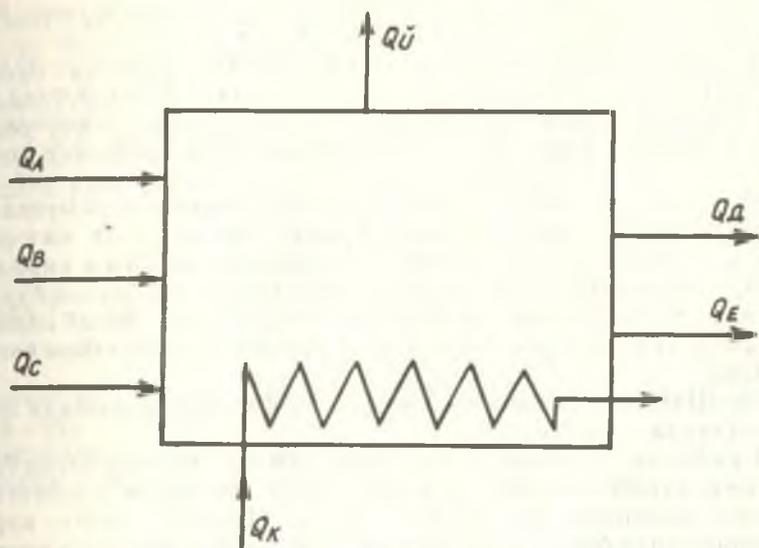


1.2- расм. Ҳаракатдаги системалар учун оқимнинг узлуксизлиги.

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

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

бу ерда Q_A, Q_B, Q_C — A, B, C компонентлари билан қурилмага кирган иссиқлик миқдори; Q_D, Q_E — D ва E компонентлари орқали қурилмадан чиққан иссиқлик миқдори; Q_K — қурилмага ташқаридан киритилган қўшимча иссиқлик миқдори; Q_A атроф муҳитга тарқалган иссиқлик миқдори.



1.3- расм. Энергетик баланс схемаси.

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

Моддий ва иссиқлик баланси тенгламалари технология жараёнларини ўрганишда кўп ишлатилади.

1.5-§. СИСТЕМАНИНГ МУВОЗАНАТ ҚОНУНЛАРИ

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

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

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

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

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

бу ерда Ф — фазалар сони; С — эркинлик даражаси сони; К — системадаги компонентлар сони.

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

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

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

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

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

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

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

1.6-§. МОДДА ВА ЭНЕРГИЯНИНГ ЎТКАЗИШ ҚОНУНЛАРИ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.7-§. МУКАММАЛ ҚУРИЛМАЛАР ЯРАТИШ АСОСЛАРИ

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

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

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

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

1) даврий жараёнларни узлуксиз жараёнлар билан алмаштириш;

2) қурилма иш механизмларининг тезлигини ошириш;

3) қурилмадаги гидравлик режимларни яхшилаш;

4) юқори температура ва катта босимларни қўллаш;

5) ультратовуш, механик (пульсацион ва вибрацион) тебранишлар, мавҳум қайнаш принципи, электромагнит майдон таъсирларидан фойдаланиш;

6) янги технологияларни қўллаш.

Шароитни ҳисобга олган ҳолатда қурилмалар ишини тезлаштириш усули танлаб олинади.

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

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

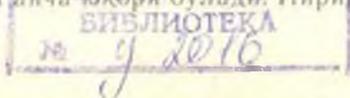
Қурилмани лойиҳалаш, тайёрлаш ва ишлатишнинг киймати иложи борича кам бўлиши керак. Ишлатиш ва конструктив талабларни қондирган қурилмалар одатда иқтисодий талабга ҳам жавоб беради.

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

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

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

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



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

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

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

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

1.8-§. КИМЁВИЙ ҚУРИЛМАЛАР ТАЙЁРЛАШ УЧУН МАТЕРИАЛЛАР

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

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

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

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

1.1-жадвал. **Металларнинг коррозияга барқарорлиги**

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

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

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

бу ерда P — коррозия тезлиги, мм/йил; K — масса бўйича йўқолиш, г/м²·йил; ρ — металлнинг зичлиги, г/см³.

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

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

А — механик хоссалари бўйича етказиб бериладиган пўлатлар;

Б — кимёвий таркиби бўйича етказиб бериладиган пўлатлар;

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

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

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

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

Коррозияга барқарор ва танқис бўлган пўлатни тежашнинг

асосий усулларидан бири — қурилмаларни тайёрлашда икки қатламли металлдан фойдаланишдир. Бунда биринчи қатлам углеродли пўлатдан, иккинчи — химоя қилувчи қатлам эса коррозияга барқарор пўлатдан ёки рангли металл ва қотишмадан таркиб топган бўлади. Кўпинча химоя қилувчи металл сифатида 08X13, 12X1810T, 08X17H13M2T, 06XH28MDT навли пўлат ишлатилади.

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

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

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

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

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

Коррозион мухитда ишлайдиган бир қатор кимёвий қурилмаларни ишлаб чиқаришда нометалла материаллардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай конструкцион материаллар қаторига пластмассалар (винилласт, фаолит, фторпласт ва хоказо), шишали пластиклар, кўмир графитли материал, керамика, фарфор, композицион материаллар ва бошқалар кирди.

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

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

Умуман олганда кимёвий қурилмаларнинг юзалари қуйидаги усуллар ёрдамида химоя қилинади:

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

1.9-§. ФИЗИК КАТТАЛИКЛАРНИНГ ЎЛЧОВ СИСТЕМАЛАРИ

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

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

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

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

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

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

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

паскаль (Па) қабул қилинган. Паскаль — кучга перпендикуляр 1 м² юзага текис тақсимланган 1 Н кучдан ҳосил қилинган босимга тенг.

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

миллиондан бир улушидан миллиондан бир улуши» ибораси ўрнига пикофарад (пФ) ни ишлатиш лозим. Пикофарад 10^{-12} Ф га, яъни фараднинг биллиондан бир улушига тенг.

Халқаро бирликлар системасида ишлатиладиган олд қўшимчалар ва уларнинг кўпайтувчилари 1.3-жадвалда келтирилган. 1.4-жадвалда эса СИ бирликлари билан айрим эскирган бирликлар ўртасидаги нисбатларга мисоллар келтирилган.

1.3-жадвал. Олд қўшимчалар ва уларнинг кўпайтувчилари

Кўпайтувчи	Олд қўшимча		
	номи	белгиси	
		халқаро	ўзбекча
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{18}$	экса	Е	Э
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{15}$	пета	Р	П
$1\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{12}$	тера	Т	Т
$1\ 000\ 000\ 000=10^9$	гига	Г	Г
$1\ 000\ 000=10^6$	мега	М	М
$1\ 000=10^3$	кило	К	к
$100=10^2$	гекто	h	г
$10=10^1$	дека	da	да
$0,1=10^{-1}$	деци	d	д
$0,01=10^{-2}$	сант	c	с
$0,001=10^{-3}$	милли	m	м
$0,000001=10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,000000001=10^{-9}$	нано	n	н
$0,000000000001=10^{-12}$	пико	p	п
$0,000000000000001=10^{-15}$	фемто	f	Ф
$0,000000000000000001=10^{-18}$	атто	a	а

1.4-жадвал. Бирликлар ўртасидаги нисбатлар

Катталик номи	СИга бинван бирлиги	СИ бирлигига утказиш коэффициентлари
Узунлик	м	$1\ \text{мкм} = 10^{-6}\ \text{м}$ $1\ \text{А}^\circ = 10^{-10}\ \text{м}$
Оғирлик кучи (оғирлик)	Н	$1\ \text{кгк} = 9,81\ \text{Н}$ $1\ \text{дин} = 10^{-5}\ \text{Н}$
Динамик қовушоқлик	Па·с	$1\ \text{П (пуаз)} = 0,1\ \text{Па·с}$ $1\ \text{сП} = 10^{-3}\ \text{Па·с}$
Кинематик қовушоқлик	$\text{м}^2/\text{с}$	$1\ \text{кгк·с/м}^2 = 9,81\ \text{Па·с}$ $1\ \text{ст (стокс)} = 10^{-4}\ \text{м}^2/\text{с}$
Босим	Па	$1\ \text{дин/см}^2 = 0,1\ \text{Па} = 1\ \text{ат}$ $1\ \text{кгк/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4\ \text{Па} = 735\ \text{мм сим.устуни} = 10\ \text{мм сув устуни}$ $1\ \text{кгк/м}^2 = 9,81\ \text{Па}$ $1\ \text{атм} = 1,033\ \text{кгк/м}^2 = 1,01 \cdot 10^5\ \text{Па} = 760\ \text{мм сим.уст.} = 10,33\ \text{мм сув уст.}$
Кувват	Вт	$1\ \text{бар} = 10^5\ \text{Па}$ $1\ \text{кгк·м/с} = 9,81\ \text{Вт}$ $1\ \text{эрг/с} = 10^{-7}\ \text{Вт}$ $1\ \text{ккал/соат} = 1,163\ \text{Вт}$

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

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

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

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

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

бу ерда m — масса, кг; V — ҳажм, м³. Халқаро бирликлар системасида зичлик кг/м³ да ўлчанади.

Бирорта модданинг зичлиги (ρ)ни сувнинг зичлиги (ρ_c)га нисбати *нисбий зичлик* дейилади:

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

0 дан 100°С гача бўлган ораликда техник ҳисоблашлар учун сувнинг зичлиги $\rho_c = 1000$ кг/м³ деб олинади.

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

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

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

бу ерда m_a а компонентнинг аралашмадаги массавий улуши, кг/кг; $m_b = 1 - m_a$ — б компонентнинг аралашмадаги массавий улуши, кг/кг; ρ_a ва ρ_b а ва б компонентларнинг зичликлари, кг/м³.

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

Солиштира оғирлик. Ҳажм бирлигидаги модданинг оғирлиги *солиштира оғирлик* деб аталади ва γ билан белгиланади:

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

бу ерда G — суюқлик оғирлиги, Н. СИ га биноан солиштира оғирлик Н/м³ да ўлчанади. Масса билан оғирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

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

бу ерда g — эркин тушиш тезланиши, м/с².

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

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

Зичликка тесқари бўлган катталиқ *солиштира ҳажм* деб аталади ва v (м³/кг) билан ифодаланади:

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

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

$$T = \mu F \frac{dw}{dn}, \quad (1.17)$$

бу ерда F — ишқаланиш юзаси; $\frac{dw}{dn}$ — тезлик градиенти; μ — ковушоқликнинг динамик коэффиценти.

Ковушоқликнинг динамик коэффиценти СИ га биноан қуйидаги бирликда ўлчанади:

$$\mu = \frac{T}{F \left(\frac{dw}{dn} \right)} = \frac{N}{m^2 \left(\frac{m/c}{m} \right)} = \frac{N \cdot c}{m^2} = \text{Па} \cdot \text{с}.$$

Динамик қовушоқлик коэффициентининг шу суюқлик зичлиги га нисбати кинематик қовушоқлик дейилади ва ν билан белгиланади:

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

СИ да кинематик қовушоқлик м²/с бирлигида ўлчанади.

Температура ортиши билан суюқликнинг қовушоқлиги камаяди, газларда эса ортади. Суюқликнинг қовушоқлиги газнинг қовушоқлигига нисбатан бир неча марта каттадир. Масалан, 20°C да сувнинг қовушоқлиги тахминан 0,001 Па·с, глицеринники 1,5 Па·с, хавоники эса 0,00002 Па·с га тенг.

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

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

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

бу ерда λ — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини; δ — девор қалинлиги; F — иссиқлик ўтаётган юза; Δt — деворнинг иккала томонидаги температуралар фарқи.

Охириги тенглама орқали λ нинг СИ даги ўлчов бирлигини топамиз:

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

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати температура, босим ва модданинг турига боғлиқ. Турли жисмлар учун λ нинг қиймати справочникларда берилган бўлади. Газ, суюқлик ва қаттиқ моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари (λ , Вт/м·К) қуйидаги чегарада ўзгаради:

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

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

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

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

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

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

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

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

бу ерда λ — иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти; c — солиштирма иссиқлик сизими; ρ — зичлик.

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

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

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

2-боб. ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ АСОСЛАРИ

2.1-§. ЁХШАШЛИК НАЗАРИЯСИНING АҲАМИЯТИ

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

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

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

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

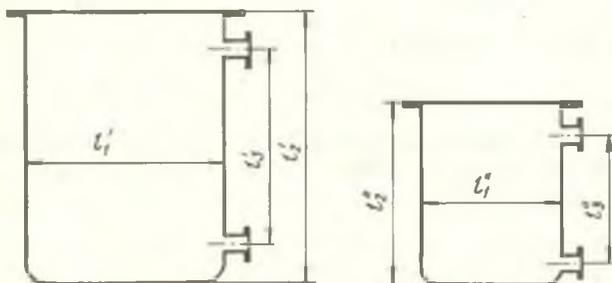
2.2-§. УХШАШЛИК ТЕОРЕМАЛАРИ

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

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

$$\frac{l_1}{l_1'} = \frac{l_2}{l_2'} = \frac{l_3}{l_3'} = K_l = \text{const} \quad (2.1)$$

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



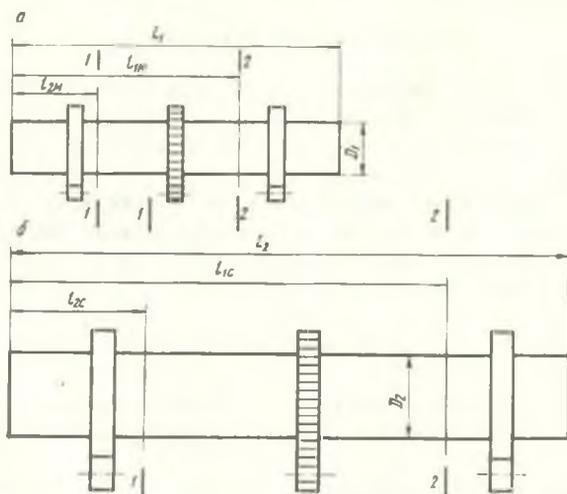
2.1-расм. Геометрик ўхшаш идишлар.

2.2-расмда саноатда ишлатиладиган барабанли қуритгич (б) ва унинг модели (а) кўрсатилган. Агар барабанли қуритгич ва унинг модели геометрик ўхшаш бўлса, у ҳолда $L_2 = K_l L_1$ ва $D_2 = K_l D_1$ чунки бу қурилмалар учун геометрик ўлчов катталиклари доимийлиги $K_c = \text{const}$. Бунда қурилмаларнинг материал юкланадиган томонидан то 1—1 ва 2—2 кесимларидаги нуқталар ўхшашлиги қуйидаги тенглик билан ифодаланади: $l_{1M} = K_l l_{1C}$ ва $l_{2M} = K_l l_{2C}$.

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

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

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



2.2- расм. Барабанли қуритгичларнинг геометрик ўхшашлиги:

а — модель; б — саноат қурилмаси.

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

$$\frac{\mu_1'}{\mu_1} = \frac{m_2'}{m_2} = \frac{\mu_3'}{\mu_3} = \dots = \frac{\mu_n'}{\mu_n} = \alpha_\mu = \text{const}, \quad (2.3)$$

бу ерда μ_1' , μ_2' , μ_3' , μ_n' , μ_1 , μ_2 , μ_3 , μ_n — биринчи ва иккинчи система хоссаларининг вақт бирлигида ўзгариши; α_μ — физик катталиқ доимийлиги.

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

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

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

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

бу ерда f — куч, m — заррачанинг массаси, τ — вақт, ω — заррача тезлиги.

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

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

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

ёки

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

Бундай ифодалар *критериал тенгламалар* деб юритилади.

Учинчи теорема М. В. Кирпичев ва А. А. Гухман томонидан аниқланган. Бу теорема тажриба асосида олинган ҳисоблаш усулларидан амалда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Бу теоремага асосан, сон жихатдан тенг аниқловчи мезонларга эга бўлган ходисалар ўхшаш ҳисобланади. Масалан, (2.6) тенгламадаги π_1 — аниқловчи мезондир.

2.3-§. ЎХШАШЛИК МЕЗОНЛАРИ

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

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

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

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

бу ерда ω — суюқлик ёки газ оқимининг тезлиги, м/с; d — оқимнинг характерли ўлчами, м; ρ — суюқлик ёки газнинг зичлиги, кг/м³; μ — мухитнинг динамик қовушоқлиги, Па·с.

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

Эйлер мезони:

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

бу ерда ΔP — суюқлик оқимидаги босимнинг йўқолиши, Па.

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги суюқликнинг гидростатик

босими ва инерция кучлари орасидаги ўзаро боғланишни ва трубаларда суюклик ҳаракат қилганда ўлчамсиз босимнинг йўқолишини ифодалайди.

Фруд мезони:

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

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

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

Галилей мезони:

$$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2}, \quad (2.10)$$

бу ерда ν — муҳитнинг кинематик қовушоклиги, m^2/s .

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги ишқаланиш кучларнинг оғирлик кучларига нисбатини белгилайди.

Гомохрон мезони:

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

бу ерда τ — вақт, s .

Гомохрон мезони ўхшаш оқимлардаги ҳаракатнинг тургунмаслигини аниқлайди.

Архимед мезони:

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

бу ерда ρ_1 ва ρ_2 оқимнинг икки нуктасидаги суюкликнинг зичлиги, kg/m^3 .

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

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

Нуссельт мезони:

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

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

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

Фурье мезони:

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

бу ерда α — температура ўтказувчанлик коэффициентини, m^2/s .

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

Пекле мезони:

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

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

Прандтл мезони:

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

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

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

Био мезони:

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

бу ерда l_k — қаттиқ жисмнинг характерли ўлчами, м; λ_k — қаттиқ жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини, Вт/(м·к)

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

Грасгоф мезони:

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

бу ерда β суюқликнинг ҳажм бўйича кенгайиш коэффициентини, 1/К; Δt — қаттиқ жисм ва ундан маълум масофадаги оқим температуралари орасидаги фарқ, К.

Грасгоф мезони эркин иссиқлик конвекциясини характерлаб, ишқаланиш кучлари ва неизотермик оқимнинг айрим нукталаридаги турли зичликлар таъсирида ҳосил бўлган кўтарувчи куч ўртасидаги нисбатини белгилайди.

Кутателадзе мезони:

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

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

суюкликнинг (масалан, конденсатнинг) иссиқлик сизими, $J/(кг \cdot K)$; Δt — конденсат юққа қатлами ва девор устидаги температуралар фарқи, K .

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

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

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

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

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

$$Bi' = \frac{\beta l_k}{D_k}, \quad (2.23)$$

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

бу ерда β — модда бериш коэффиценти, $м/с$; D — диффузия коэффиценти, $м^2/с$; D_k — қаттик жисмдаги диффузия коэффиценти, $м^2/с$.

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

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

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

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

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

2.4-§. ЎЛЧАМЛАРНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ

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

Масалан, труба орқали суюқликнинг ҳаракати тадқиқ қилинганда трубанинг ичидаги босим фарқи ΔP га унинг диаметри d ва узунлиги l , суюқликнинг зичлиги ρ , қовушоқлиги μ ва тезлиги w таъсир этиши маълум бўлган, яъни:

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

Ушбу тенгламани қуйидагича ёзиш ҳам мумкин:

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

бу ерда c — доимий қиймат.

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

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

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

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

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

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

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

(2.27) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

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

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

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

Бир хил катталикларни ўзаро бирлаштирамиз, у ҳолда:

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

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

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

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

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

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

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

ёки

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

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

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

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

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

(2.34) тенгламани қуйидагича ифодалаш мумкин:

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

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

2.5-§. МОДЕЛЛАШТИРИШНИНГ АСОСИЙ ПРИНЦИПЛАРИ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Умуман олганда моделлаштириш қуйидаги тартибда олиб борилади:

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

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

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

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

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

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

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

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

3-боб. МАТЕРИАЛЛАРНИ МАЙДАЛАШ

3.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

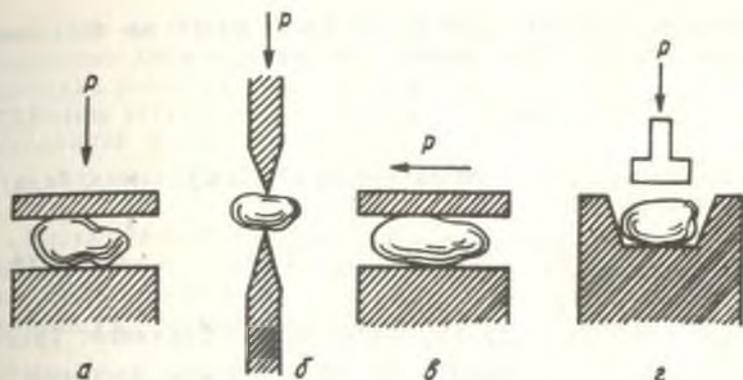
Кимёвий технологияда механик жараёнлар алоҳида аҳамиятга эга. Механик жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисм механикаси қонунлари билан ифодаланади. Бундай жараёнлар материалларга механик куч таъсир қилишига асосланади. Механик жараёнлар (майдалаш, синфларга ажратиш, саралаш, аралаштириш, эзиш, донадорлаш,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

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

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

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

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



3.1- расм. Материалларни майдалаш усуллари:

а) эзиш; б) ёриш; в) ейилиш; г) зарба.

3.1- ж а т в а л. Майдалаш жараёнининг синфларга бўлиниши

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

валда берилган.

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

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

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

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

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

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

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

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

Аралашмадаги бўлакнинг ўртача характерли ўлчами қуйидагича ҳисобланади:

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

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

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

3.2-§. МАЙДАЛАШНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

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

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

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

бу ерда k — мутаносиблик коэффициенти, қаттиқ жисм ҳажмий биригини деформация қилиш учун сарф бўлган иш; ΔV — емирилаётган бўлак ҳажмининг ўзгариши.

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

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

бу ерда σ — мутаносиблик коэффиценти, каттик жисмда янги юза бирлигини ҳосил қилиш учун сарфланган иш миқдори; ΔF — қайтадан ҳосил бўлган юза.

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

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

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

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

бу ерда k_1 — мутаносиблик коэффиценти; d — бўлакнинг хактерли ўлчами.

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

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

бу ерда σ_1 — мутаносиблик коэффиценти.

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

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

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

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

(3.8) — (3.10) тенгламалар ёрдамида майдалаш жараёни учун сарфланган ишнинг абсолют миқдорини аниқлаш мумкин эмас, чунки мутаносиблик коэффицентлари (k_1 , σ_1 , k_2) нинг қийматлари номаълумдир. Шу сабабдан ушбу тенгламалар майдалаш жараёнларини ўзаро солиштириш учун ишлатилади.

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

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

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

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

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

3.3-§. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ ПРИНЦИПАЛ ЧИЗМАЛАРИ

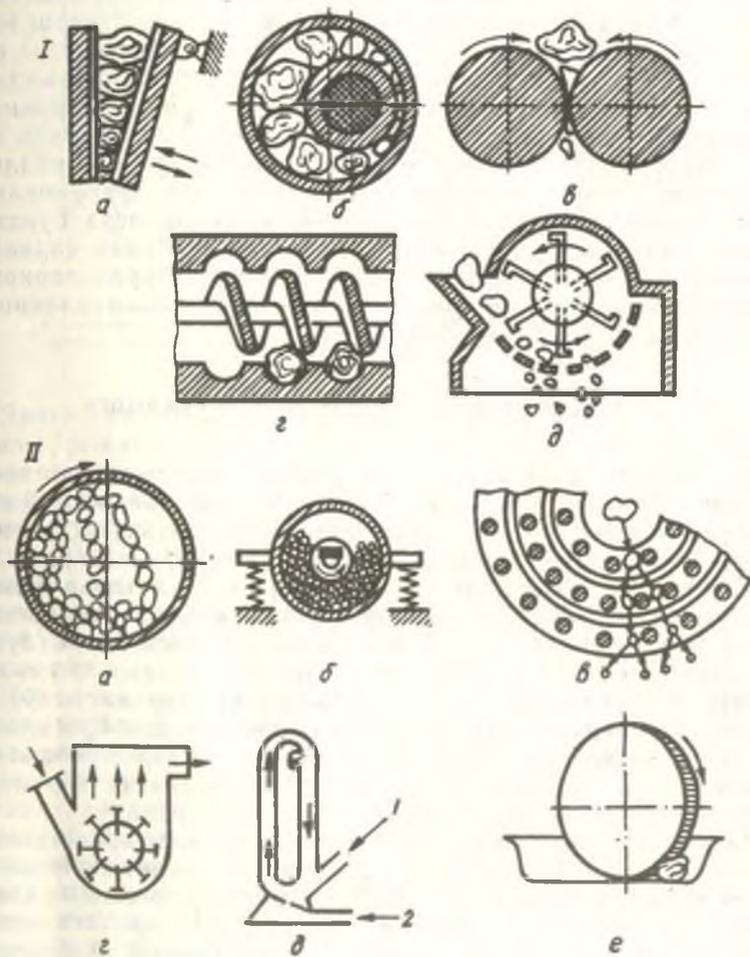
Саноатда қаттиқ жисмларни майдалаш мақсадида турли машина ва тегирмонлар ишлатилади.

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

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

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

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



3.2- расм. Майдалаш машиналарининг принциал чизмалари:

I — янчиш машиналари: а — ясси қисмли; б — конусли; в — валли; г — шнекли; д — болгалли;
 II — янчирмонлар: а — шарли; б — вибрацион шарли; в — дезинтегратор; г — азродастали;
 д — пурковчи; е — фидиракли; 1 — материал; 2 — ҳаво.

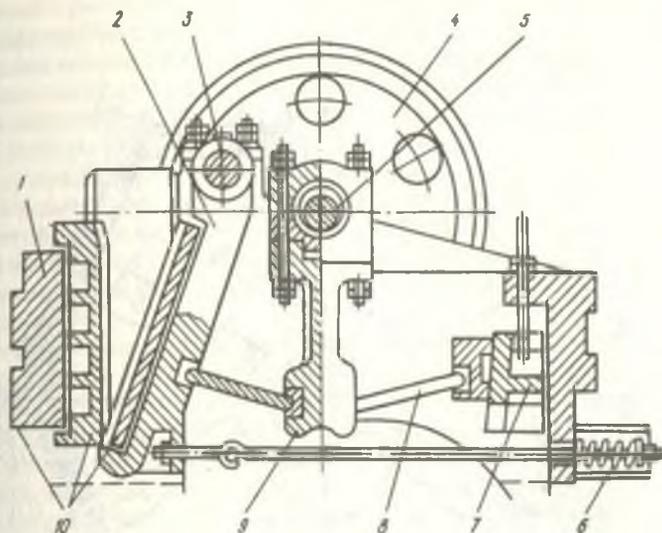
ал бир-бирига қарама-қарши йуналган валлар оралигида эзилади. Агар валлар бир хил тезликка эга бўлса материалнинг ейилиши ҳам юз беради. Шнекли янчиш машиналарида материал кесиш ва қисман ейилиш жараёнида майдаланишга учрайди. Болғали янчигида қаттиқ жисм болғаларнинг зарбаси ва ейилиш таъсирида майдаланади.

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

3.4-§. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ ТУЗИЛИШИ

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

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



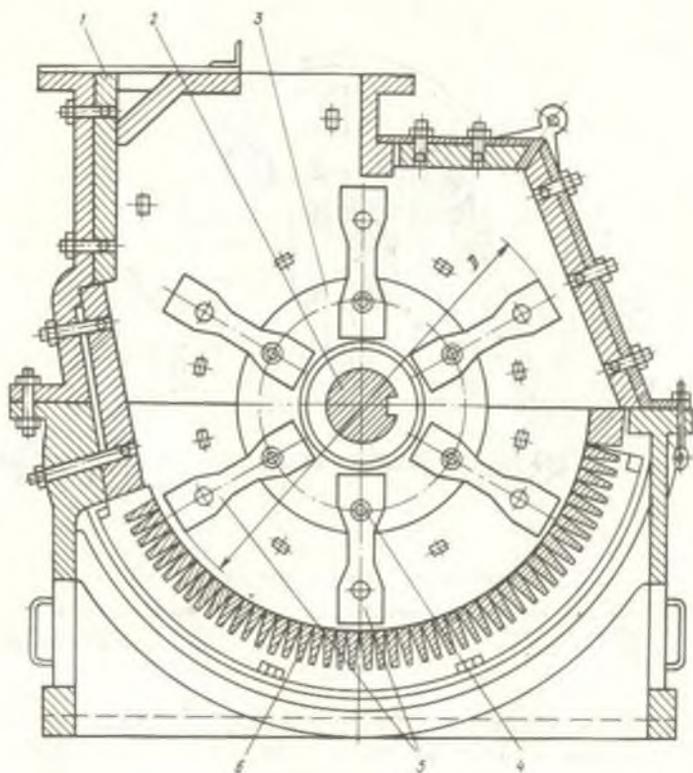
3.3- расм. Ясси қисмли янчиш машинаси.

1 — қўзғалмас юза; 2 — қўзғалувчан юза; 3 — қўзғалувчан юза илмогининг ўқи;
 4 — маховик; 5 — вал; 6 — тортғичли пружина; 7 — созлайдиган дастаклар; 8 — тир-
 говичли плиталар; 9 — эксцентрикли шатуи; 10 — марганецли пўлатдан қилинган
 плиталар.

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

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

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



3.4-расм. Болгали янчиш машинаси:

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

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

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

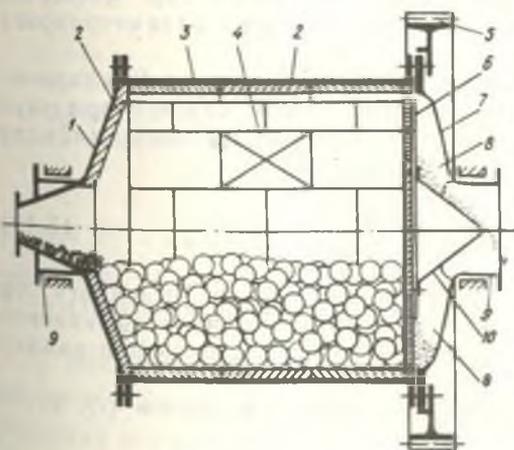
Шарли тегирмон. Шарли тегирмон майдаловчи жисмлар (металл ёки кварцдан тайёрланган шарлар) билан қисман тўлдирилган барабандан иборат. Барабanning айланиши пайтида ишқаланиш кучи таъсирида шарлар барабан билан бирга ҳаракат қилиб, маълум баландликка кўтарилгандан сўнг эркин тушиб, материални зарба кучи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

(1) ва (7) билан беркитилган калта цилиндрсимон барабандан иборат. Барабан ичи бўш цапфалар (9) ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Қопқоқларнинг биттаси бутун кўндаланг кесими бўйича диафрагмалли панжара (6) билан тўсилган бўлади. Диафрагмалли панжара материалнинг катта бўлақларини ва шарларни ушлаб қолтириш учун хизмат қилади. Майдаланган материал диафрагманинг тор тирқишлари орқали ўтиб, радиал кирралар (8) ёрдамида йўналтирувчи конус (10) га тукилади, сўнгра ичи бўш цапфа орқали машинадан ташқарига чиқарилади.

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

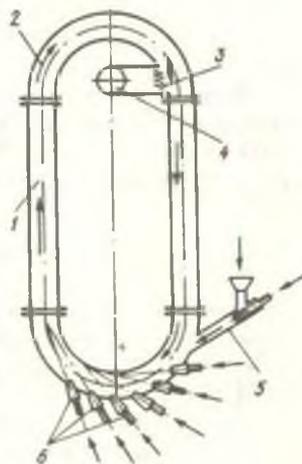
Шарли тегирмонларнинг майдалаш самарадорлиги ва энергия сарфи майдаловчи жисмларнинг айланиш тезлиги, оғирлиги ва ўлчамларига, ҳўл усул қўлланилганда эса суспензиянинг концентрациясига ҳам боғлиқ бўлади.

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



3.5-расм. Шарли тегирмон:

1, 7 — қопқоқлар; 2 — зирҳли плиталар; 3 — барабан қобини; 4 — люк; 5 — ҳаракатлантирувчи ғилдирак; 6 — диафрагмалли панжара; 8 — радиал кирралар; 9 — ичи бўш цапфа; 10 — йўналтирувчи конус.



3.6-расм. Пулковчи тегирмон:

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

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

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

3.5-§. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

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

Валли, ясси юзали ва конусли янчиш машиналари. Валларнинг юзаси текис ва тарам-тарам бўлган янчиш машиналари учун материалнинг дастлабки бўлаги ўлчамининг максимал қиймати $d_{0\max}$ қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$d_{0\max} = \frac{D(1-f)+a}{f}, \quad (3.12)$$

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

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

$$G = aL\omega\rho_1\mu, \quad (3.13)$$

бу ерда L — валнинг узунлиги, м; ω — валнинг айланма ҳаракат тезлиги, м/с; ρ_1 — тўқилган ҳолатдаги материалнинг зичлиги, кг/м³; μ — валлар ораллигини материал билан тўлиш даражасини характерлайдиган коэффициент (текис ва тарам-тарам юзали

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

Ясси қисмли ва конусли янчиш машиналарининг иш унумдорлигини тўғридан-тўғри топишга имконият берадиган тенглама ҳозирча йўқ. Бундай машиналарнинг иш унумдорлигини топиш учун аввало уларни ўртача пишиқликка эга бўлган материалларни майдалашида синаб кўрилади, сўнгра олинган натижалар толқон бўлиш қобилияти коэффицентининг қийматига кўпайтирилади. Йирик ва майда янчишга мосланган машиналарнинг иш унумдорлиги (V , м³/с) ва майдаланган материал чиқадиган тиркиш кенглиги (a , мм) тегишли адабиётдаги жадвалларда берилди.

Майдаланган материал чиқадиган тиркишнинг бошқа қийматлари учун янчиш машинасининг иш унумдорлиги (V_a , м³/с) куйидаги тенглама ёрдамида аниқланилади:

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

бу ерда V — янчиш машинасининг жадвалдан олинган иш унумдорлиги, м³/с; Δa — майдаланган материал чиқадиган тиркиш кенглигининг ўзгариши, мм; K_t — материалнинг толқон бўлиш қобилиятини белгиловчи коэффицент.

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

$$K_t = \frac{q_m}{q_s} \quad (3.15)$$

Майдалаш қурилмасининг солиштирма иш унумдорлиги куйидагича топилади.

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

бу ерда m — материал массаси, кг; V_c — майдалаш қурилмаси ҳажми, м³; t — майдаланган материал заррачаси ўлчамини маълум бир қийматга эришгунча кетган жараённинг давомлилиги, с.

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

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

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

бу ерда K_σ — материал бўлагининг пишиқлилик коэффициенти; σ_c — материалнинг сиқилишдаги пишиқлилик чегараси, Па; E — материалнинг эластиклик модули, Па; G — иш унумдорлик, кг/с; ρ_m — материал зичлиги, кг/м³; i — майдаланиш даражаси.

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

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

бу ерда η_d — янчиш машинасининг фойдали иш коэффициенти; η_m — механик узатишнинг фойдали иш коэффициенти.

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

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

Материалнинг майдаланиш даражаси қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$i = \frac{\omega^2 z M \rho_m E}{36^2 (z M + m)} + 1 \quad (3.19)$$

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

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

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

бу ерда r — болғаларнинг тебранма ҳаракат радиуси, м.

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

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

Янчиш машинаси двигателининг қувватини қуйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$N_{\text{дв}} = \frac{G\omega^2}{2\eta_{\text{д}}\eta_{\text{м}}}, \quad (3.21)$$

бу ерда G — иш унумдорлиги, кг/с; $\eta_{\text{д}}$ — янчиш машинасининг фойдали иш қозғиш коэффициенти ($\eta_{\text{д}}=0,5$); $\eta_{\text{м}}$ — механик узатишнинг фойдали иш қозғиш коэффициенти ($\eta_{\text{м}}=0,9$).

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

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

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

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

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

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

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

Шарли тегирмондан чиқаётган майдаланган материалнинг солиштирма юзаси ($F_{\text{св}}$, $\text{м}^2/\text{м}^3$) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади.

$$F_{\text{св}} = \frac{41,4}{d_{\text{ном}}} \lg \left(\frac{d_{\text{ном}} \cdot 10^6}{5,47} \right), \quad (3.24)$$

бу ерда $d_{\text{ном}}$ — $R(d_{\text{ном}})=0,05$ шартга жавоб берадиган заррачанинги номинал ўлчами, м.

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

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

бу ерда d — заррачанинг 0 билан $d_{\text{ном}}$ ўртасида ўзгарадиган ўлчами.

Тегирмон танлашда электр двигателнинг қуввати қуйидагича топилади:

$$N_{\text{эв}} = (1,3 \div 1,5)N_{\text{ш}}. \quad (3.26)$$

Майдаловчи жисмлар (яъни шарлар) нинг массаси қуйидаги тенглама бўйича ҳисобланилади:

$$m_{\text{ш}} = \phi \pi R^2 L \rho_{\text{тш}}, \quad (3.27)$$

бу ерда ϕ — барабаннынг тўлдириш коэффициенти; R — барабаннынг ички радиуси, м; L — тегирмон барабанининг ички узунлиги, м; $\rho_{\text{тш}}$ — тўкилган ҳолатдаги шарларнинг ўртача зичлиги, кг/м³ (пўлатли шарлар учун $\rho_{\text{тш}}=4100$ кг/м³, керамик шарлар учун $\rho_{\text{тш}}=1260$ кг/м³).

Шарнинг диаметри ($d_{\text{ш}}$, м) унинг кинетик энергиясини энг катта ўлчамли материал бўлагини ($d_{\text{б,мах}}$) бузиш учун керак бўлган энергияга тенглик шартига кўра қуйидаги ифода билан аникланади:

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{18\sigma_c^2}{\rho_{\text{ш}} \pi E \omega_{\text{ш}}^2}} d_{\text{б,мах}}, \quad (3.28)$$

бу ерда $\rho_{\text{ш}}$ — шар материалининг зичлиги (пўлат учун $\rho_{\text{ш}}=7800$ кг/м³, керамика учун $\rho_{\text{ш}}=2440$ кг/м³); ω — шарнинг тушиш тезлиги, м/с.

Шарнинг тушиш тезлиги қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$\omega_{\text{ш}}^2 = 16g[R_x(2n) - R_x^3(2n)^5]^2, \quad (3.29)$$

бу ерда R_x — барабанга солинган шарлар қатламининг энг кичик радиуси, м; g — эркин тушиш тезланиши ($g=9,81$ м/с²); n — барабаннынг айланиш частотаси, с⁻¹.

Ҳисоблаш натижаларига асосланиб, керакли шарнинг стандарт диаметри топилади. Бундай мақсад учун стандарт шар диаметрининг қуйидаги қаторидан фойдаланиш керак (мм ҳисобида): 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110; 125. Ҳисобланган диаметрға энг яқин максимал ўлчамға эга бўлган стандарт шар танлаб олинади.

Тегирмон двигателининг қуввати қуйидаги тенглама билан ҳисобланади:

$$N_{\text{эв}} = \frac{K_{\text{НПтш}} R^{2,5} L_{\text{ш}}}{60\eta_{\text{ш}}} \quad (3.30)$$

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

$$K_N = \frac{60 N_{\text{ш}}}{\rho_{\text{т.ш}} R^{2,5} L g} \quad (3.31)$$

$\rho_{\text{т.ю}}$ ни аниқлаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади:

$$\rho_{\text{т.ю}} = \rho_{\text{т.ш}} + 1,15 \left(1 - \frac{\rho_{\text{т.ш}}}{\rho_m} \right) \rho_m \quad (3.32)$$

бу ерда ρ_m — тўкилган ҳолатдаги материалнинг зичлиги, кг/м^3 .
(3.32) тенгламадаги 1,15 шарлар оралигидаги бўшлиқнинг 15 фонзида майдаланган материал борлигини билдиради.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

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

4-БОБ. ТЕХНИКА ГИДРАВЛИКА АСОСЛАРИ

4.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.2-§. ГИДРОСТАТИК БОСИМ

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

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

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

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

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

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

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

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

Амалиётда гидростатик босимнинг қиймати бошқа ўлчов бирликлари орқали ҳам ифода қилинади: техник атмосфера (ат); физик атмосфера (атм); дин/см²; бар; симоб устуни; сув устуни ва ҳоказо. 1 кгк/см² га тенг бўлган босим техник атмосфера деб аталади. 10⁵ паскальга тенг бўлган босим бир барни ташкил этади.

Техник атмосфера (ат) физик атмосфера (атм) дан фарқ қилади. Физик атмосфера денгиз сатҳидаги стандарт атмосфера босими бўлиб 1,033 кгк/см² га тенг. Техник ва физик атмосфера билан бошқа босим бирликлари ўртасида қуйидаги нисбат мавжуд:

1 ат = 1 кгк/см² = 10⁴ кгк/м² = 9,81 · 10⁴ Па = 735 мм сим. уст. = 10⁴ мм сув уст.

1 атм = 1,033 кгк/см² = 1,033 · 10⁴ кгк/м² = 1,033 · 10⁵ Па = 760 мм сим. уст. = 1,033 · 10⁴ мм сув уст.

Паскаль ва бошқа бирликлар ўртасида яна қуйидаги нисбат бор:

1 дин/см² = 0,1 Па; 1 бар = 10⁵ Па; 1 мм сув уст. = 9,81 Па; 1 мм сим. уст. = 133,3 Па.

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

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

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

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

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

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

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

4.3-§. СУЮКЛИК МУВОЗАНАТ ҲОЛАТИНИНГ ЭЙЛЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Бирор идишда тинч турган суюкликка огирлик ва босим кучлари таъсир килади. Бу кучларнинг ўзаро таъсирининг суюклик ичида тақсимланиши *Эйлер* томонидан ишлаб чиқилган *дифференциал тенглама* билан ифодаланади. Ушбу тенгламани келтириб чиқариш учун идишдаги суюклик ҳажмидан кичкина параллелепипед шаклидаги бўлакча олиб, фазовий координаталар системасида унга таъсир килаётган кучларни кўрамыз (4.1- расм).

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

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

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

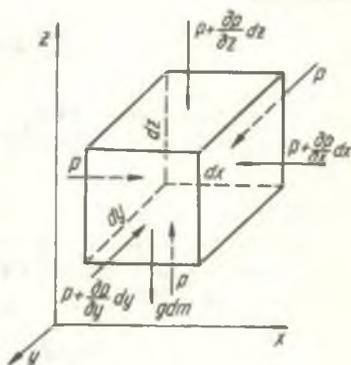
Кучлар йигиндисини z ўққа нисбатан проекциялаймиз. Огирлик кучи z ўққа параллел ва унга қарама-қарши томонға йўналган, шунинг учун бу куч z ўққа манфий (—) ишора билан проекцияланади:

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

Параллелепипеднинг ҳажми:

$$dv = dx dy dz.$$

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



4.1- расм. Мувозанат ҳолатининг Эйлер тенгламасини аниқлаш

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

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

z ўққа тенг таъсир этувчи босим кучларининг проекцияси:

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

z ўққа проекцияланган умумий кучларнинг йигиндиси нолга тенг ёки:

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

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

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

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

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

Қавсни очиб, тегишли қисқартиришларни бажарсак:

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

Худди шунингдек y ўқ учун:

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

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

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

Бу тенгламалар системаси Эйлернинг суяқлик мувозанат

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

4.4-§. ГИДРОСТАТИКАНИНГ АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

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

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

Бундан

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

Тенгламанинг чап ва ўнг қисмини ρg га бўлиб, ишораларини ўзгартирамиз:

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

Бир жинсли аниқ сиқилмайдиган суюкликларнинг зичлиги ўзгармас бўлгани учун

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

Бу тенгламани интеграллаймиз, у ҳолда:

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

Бу тенглама гидростатиканинг асосий тенгламаси дейилади.

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

Гидростатиканинг асосий тенгламасига мувофиқ, тинч турган суюкликнинг ҳар қандай нуктасида геометрик ва статик босим кучларининг йигиндиси ўзгармас микдорга тенг. Нивелир баландлик ва статик босим кучи метр ҳисобида ифодаланadi. Умумий ҳолда тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

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

P_0 — тинч турган суюклик сиртига таъсир қилаётган атмосфера босими.

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

4.5-§. НЬЮТОН ВА НОНЬЮТОН СУЮҚЛИКЛАР

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

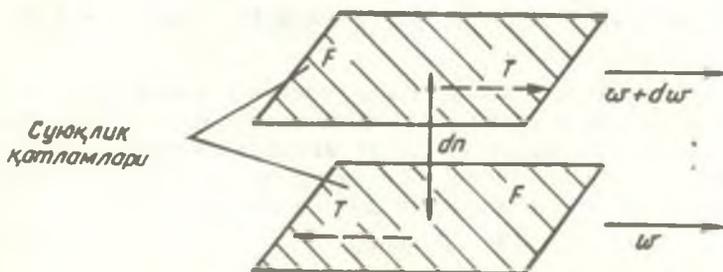
Аммо баъзи суюқликлар (полимерларнинг эритмаси, бўёқ, целлюлоза, паста, суспензиялар ва ҳоказо) анча мураккаб қовушоқлик хоссаларига эга, бундай суюқликлар (яъни *ноньютон суюқликлар*)нинг хоссаларини Ньютон қонуни ёрдамида ифодалаш мумкин эмас. Ноньютон суюқликларда қовушоқлик ҳолат параметрларидан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

Ньютоннинг ишқаланиш қонуни (1.17) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

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

бу ерда τ — силжиш кучланишлиги (ички ишқаланиш кучланишлиги ёки кучланишлик уринмаси), Па.

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



42-рағ. Қовушоқликнинг аниқлаш

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

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

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

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

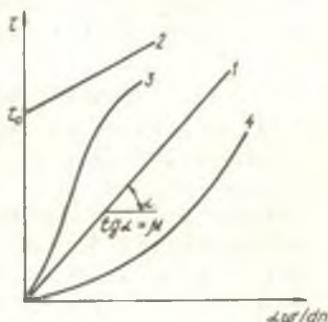
Ньютон суюқликлар учун τ билан $\frac{dw}{dn}$ ўртасидаги боғлиқлик тўғри чизикни ташкил этади (1- чизик). Бу чизик қиялик бурчагининг тангенсини динамик қовушоқлик коэффициентига тенг бўлади: $\operatorname{tg} \alpha = \mu$.

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

$$\tau - \tau_0 = \mu_{n,s} \frac{dw}{dn}, \quad (4.12)$$

бу ерда $\mu_{n,s}$ — пропорционаллик коэффициенти (ёки пластик қовушоқлик).

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



4.3- расм. Оқиш эгри чизиклари. Суюқликлар:

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

Мавхумпластик ва дилатант суюкликлар *туюладиган қовушоқлик* (μ_s) билан характерланади:

$$\mu_s = \frac{\tau}{dw / dn} \quad (4.13)$$

Ноньютон суюкликлар каторига *тиксотроп* ва *реопектант* суюкликлар ҳам киради. Тиксотроп суюкликларда (масалан, вақт давомида қовушоқлиги ортиб борадиган бўёқлар) маълум кийматдаги силжиш кучланишлигининг таъсир вақти ортиши муҳит таркибининг бузилишига ва оқиш тезлигининг кўпайишига олиб келиши мумкин. Реопектант суюкликларда эса вақт давомида силжиш кучланишлигининг таъсири ортиши билан муҳитнинг оқувчанлиги камаяди. Реопектант суюкликларга бентонит лойининг суспензияси ва айрим коллоид эритмалар мисол була олади.

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

4.6-§. СУЮКЛИКНИНГ ТЕЗЛИГИ ВА САРФИ

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

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

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

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

бу ерда V — ҳажмий сарф микдори, м³/с, S — трубанинг қўндаланг кесими, м². Юқоридаги тенгликдан:

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

Бу тенглик *секундли сарф тенгламаси* дейилади.

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

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

бу ерда ρ — суюқлик зичлиги, кг/м³.

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

4.1-жадвал. Оқим ўртача тезлигининг тахминий қиймати

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

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

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

4.7-§. Оқимнинг узлуксизлиги

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

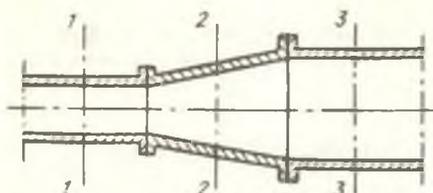
$$w_1 S_1 \rho_1 = w_2 S_2 \rho_2 = w_3 S_3 \rho_3 \quad (4.16)$$

ёки

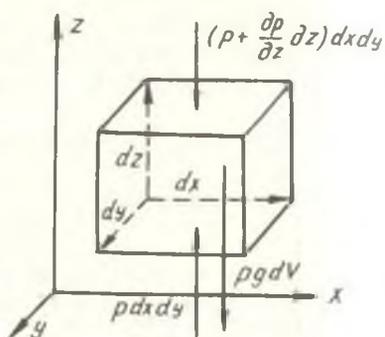
$$M_1 = M_2 = M_3.$$

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

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



4.4-расм. Узлуксизлик тенгламасини аниқлаш.



4.5- расм. Ҳаракатдаги суюқликнинг Эйлер тенгламасини аниқлаш.

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

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

Бу тенгликдан кўриниб турибдики, тезлик трубанинг кесим юзасига тескари пропорционалдир:

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

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

4.8-§. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ ЭЙЛЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

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

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

$$x \text{ ўқи} \text{га} \quad - \frac{\partial P}{\partial x} dx dy dz,$$

$$y \text{ ўқи} \text{га} \quad - \frac{\partial P}{\partial y} dx dy dz,$$

$$z \text{ ўқи} \text{га} \quad - \left(\rho g + \frac{\partial P}{\partial z} \right) dx dy dz.$$

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

$$dm = \rho dx dy dz$$

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

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

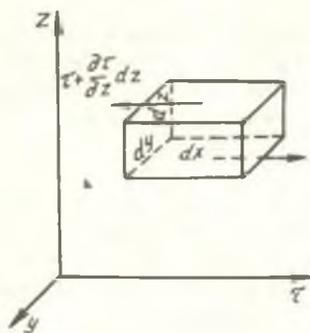
Қисқартиришлардан сўнг қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{d\omega_x}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial x} \\ \rho \frac{d\omega_y}{dt} &= -\frac{\partial P}{\partial y} \\ \rho \frac{d\omega_z}{dt} &= -\rho g - \frac{\partial P}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

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

4.9-§. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ НАВЬЕ-СТОКС ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

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



4.6- расм. Навье-Стокс тенгламасини аниқлаш.

харакатланишини кўрамиз. Бундай шароитда ишқаланиш кучлари элементар параллелепипеднинг юқориги ва пастки қирра юзалари dF га кучланиш уринмаси сифатида таъсир этади ($dF = dxdy$). Агар параллелепипеднинг пастки қиррасида кучланиш уринмаси τ га тенг бўлса, юқориги қиррада эса ($\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} dz$) ни ташкил эта-

ди. $\frac{\partial \tau}{\partial z}$ хосиласи параллелепипеднинг пастки қиррасида жойлашган нукталардаги кучланиш уринмасининг z ўқи бўйича ўзгаришини ифодалайди. $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$ эса ушбу куч-

ланишни параллелепипед қиррасининг бутун узунлиги dz бўйлаб ўзгаришини билдиради.

Тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг x ўққа проекцияси:

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

Ушбу ифодага τ нинг (4.11 а) даги қийматини қўйиб, қуйидагига эга бўламиз:

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

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

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

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

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

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

$$\mu \nabla^2 w_x dxdy dz$$

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

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

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

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

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

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

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

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

4.10-§. ОКИМНИНГ МАТЕРИАЛ ВА ЭНЕРГЕТИК БАЛАНСЛАРИ

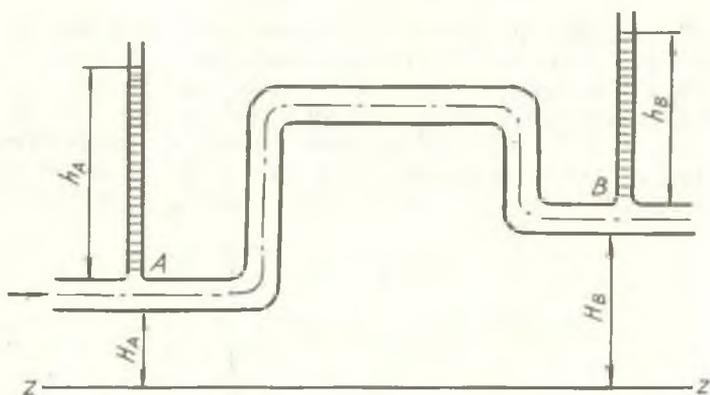
Материал баланси. Суюқликнинг тургун оқимларида материал баланси сарф тенгламалари (4.14), (4.15) билан, ўзгарувчан кесимли трубопроводлар учун эса оқимнинг узлуксизлиги тенгламаси (4.16) ёрдамида аниқланади.

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

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

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

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



4.7-расм. Бернулли тенгламасини аниқлаш.

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

$$E_k = \frac{m\omega_A^2}{2}; \quad E_p = GH_A + Gh_A,$$

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

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

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

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра идеал сиқилмайдиган изотермик суюқлик оқими учун:

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

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

Бернулли тенгламасининг қуйидаги кўринишда ёзилиши кенг ишлатилади:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ёки

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

бу ерда h_u — ишқаланиш кучини енгиш учун сарфланган босим.

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

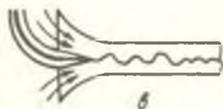
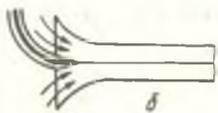
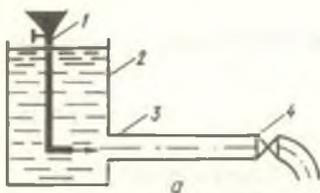
$$h_r = 0 \quad \text{ва} \quad h_c + h_g + h_u = H. \quad (4.30)$$

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

4.11-§. ҲАҚИҚИЙ СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ҲАРАКАТ РЕЖИМЛАРИ

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

Рейнольдс рангли эритмалар ёрдамида суюқликнинг икки хил — ламинар ва турбулент режимда бўлишини аниқлади. Тажриба қурилмаси 4.8-расмда кўрсатилган. Резервуарда сувнинг сатҳи бир хил ушлаб турилади. Унга горизонтал шиша труба бириктирилган. Шиша трубадаги оқим ҳаракатини кузатиш учун



4.8-расм. Рейнольдс тажрибаси:

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

унинг ўқи бўйлаб рангли суюқлик юбориладиган найча ўрнатилган. Сувнинг трубадаги тезлиги кран орқали ростланади.

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

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

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

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

бу ерда ω — оқимнинг ўртача тезлиги, м/с; d — оқимнинг аниқловчи чизикли ўлчами (думалоқ кесимли трубопровод учун унинг диаметри), м; ρ — суюқликнинг зичлиги, кг/м³; μ — қовушоқликнинг динамик коэффициенти, Па·с; ν — қовушоқликнинг кинематик коэффициенти, м²/с.

Ушбу ўлчамсиз комплекс *Рейнольдс мезони* дейилади.

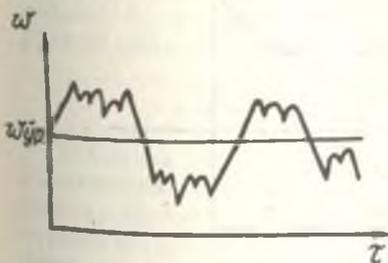
Рейнольдс мезони ҳаракат режимини аниқлаш билан бирга оқим ҳаракатидаги қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини ҳам аниқлайди. Суюқликларнинг ҳаракат режими Рейнольдс мезонининг критик қиймати $Re_{кр}$ билан аниқланади.

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

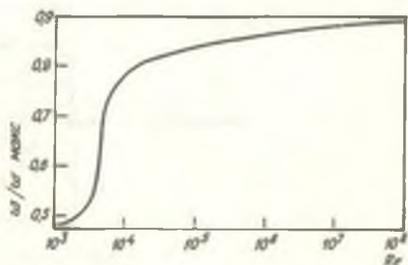
Суюқликлар ҳаракатини думалоқ кесим юзали трубалардан ташқари ҳар хил каналларда аниқлаш учун Re мезонидаги диаметр ўрнига эквивалент диаметр катталиги ишлатилади. У ҳолда

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

бу ерда S — суюқлик оқимининг кесим юзаси, м²; Π — ҳўлланган периметр, м.



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



4.10-расм. ω / ω_{max} нинг Рейнольдс мезонига боғлиқлиги.

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

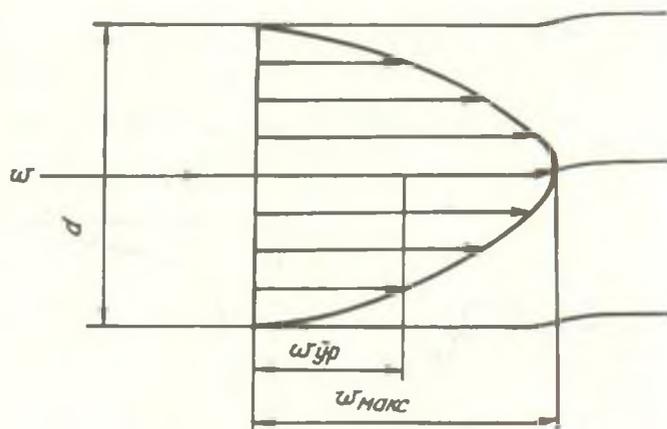
$$d_3 = \frac{4S}{\Pi} = \frac{4ab}{2a+2b} = \frac{2ab}{a+b}. \quad (4.33)$$

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

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

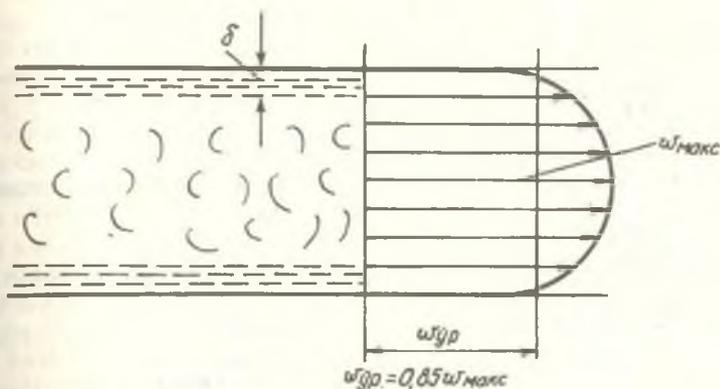
$$\omega_x, \Delta\omega_y \text{ ва } \Delta\omega_z.$$

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



$$w_{ур} = 0.5 w_{макс}.$$

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



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

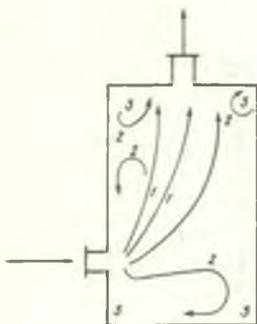
Оқимдаги ўртача ва энг юқори тезликларнинг нисбати суюкликнинг ҳаракат режимига (яъни Рейнольдс мезонининг сон қийматига) боғлиқлиги тажриба йўли билан исботланган. Re нинг маълум қиймати бўйича Никурадзе графиги (4.10- расм) ёрдамида $\omega_{ур} / \omega_{макс}$ аниқланади, сўнгра трубопроводнинг ўқи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

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

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

4.12- §. СУЮКЛИК ОҚИМИНИНГ ТУЗИЛИШИ

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



4.14- расм. Идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг чизмаси.

4.13- расм. Ичи бўш қурилмадаги оқимлар чизмаси:

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

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

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

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

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

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

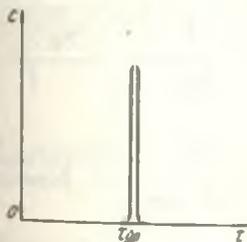
Суюқлик оқимининг тузилишини аниқлаш учун икки хил физик моделлардан фойдаланилади:

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

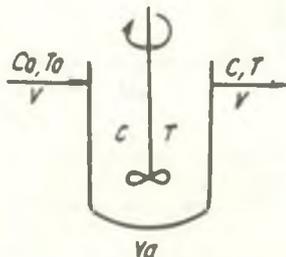
Идеаль сиқиб чиқариш модели. Қурилманинг ичидаги суюқлик заррачалари ўзаро параллел ва бир хил тезлик билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда заррачалар оқимнинг асосий массасидан ўтиб ҳам кетмайди, орқада ҳам қолмайди. Оқим худди қаттиқ поршенга ўхшаб ҳаракат қилади. Поршенли ҳаракатга эга бўлган қурилмаларни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

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

бу ерда l — заррачанинг йўли, м; ω — суюқлик тезлиги, м/с; S — кўндаланг кесими юзаси, м²; Va — қурилма ҳажми м³; V — суюқликнинг ҳажми сарфи, м³/с.



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



4.16- расм. Идеал араштириш қурилмасининг чизмаси.

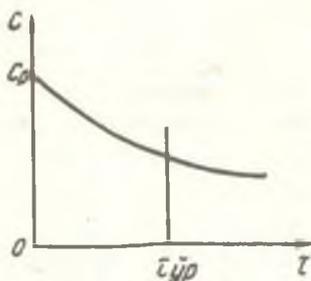
4.15- расмда идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг жавоб бериш эгри чизиги кўрсатилган. Қурилмага кираётган оқимга индикатор кўшилган моментдан бошлаб ($\tau=0$), то $\tau=\tau_{\text{сп}}$ бўлгунча қурилмадан чиқаётган оқимнинг таркибида индикатор бўлмайди. $\tau=\tau_{\text{сп}}$ моментда индикаторнинг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

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

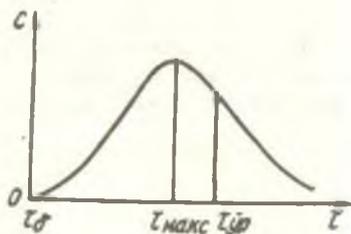
Идеал аралаштириш модели. Ушбу моделга кўра, қурилмага кираётган заррачаларнинг қурилмада мавжуд бўлган заррачалар билан бир онда тўла аралашishi рўй беради (4.16- расм). Агар қурилмага узлуксиз кираётган оқимга маълум микдорда бўёк M_0 қўшилса, у ҳолда ушбу индикатор қурилмадаги ҳамма суюқликни тўлиқ бўяйди. Қурилманинг ихтиёрий нуктасидаги индикаторнинг концентрацияси C_0 ушбу моментда қуйидаги нисбат орқали топилади:

$$C_0 = \frac{M_0}{V_a} \quad (4.35)$$

Бир оздан сўнг бўёкнинг концентрацияси C_0 камая боради, чунки бўёк моддаси қурилмадан узлуксиз чиқаётган оқим билан чиқиб кетади. 4.17- расмдан кўриниб турибдики, индикаторнинг катта қисми τ_0 билан $\tau_{ур}$ оралигида қурилмадан чиқиб кетади. Индикаторнинг қолган қисмини қурилмадан тўла чиқариш учун назарий жиҳатдан олганда чексиз вақт талаб қилинади ($\tau \rightarrow \infty$).



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



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

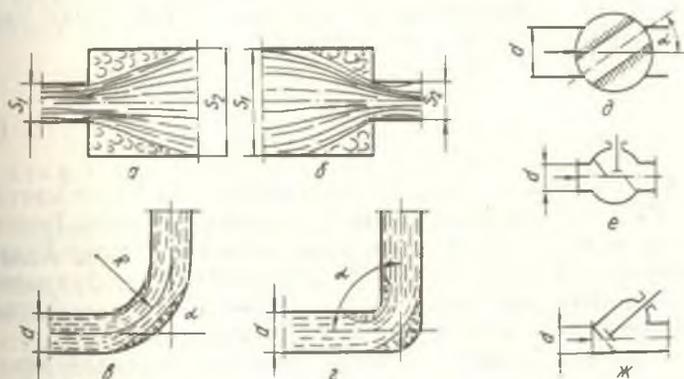
Идеал аралаштирувчи қурилмаларга ишлаш принципи бўйича жадал ишлайдиган аралаштиргичи бўлган идиш ва мавҳум қайнаш қатламли қурилма мисол бўла олади.

Кўпчилик узлуксиз режимда ишлайдиган қурилмалар ҳеч қайси моделнинг талабига жавоб бермайди. Оқимларнинг тузилишига кўра, бундай қурилмаларни *оралиқ турдаги қурилмалар* деб айтиш мумкин. 4.18- расмда оралиқ гидродинамик модели қурилманинг жавоб бериш эгри чизиги кўрсатилган. Қурилмага кираётган оқимга қўшилган индикатор τ_0 чиқаётган оқимда бироз вақт τ_0 ўтгандан сўнг пайдо бўлади. Индикаторнинг қурилмадан чиқаётган оқимдаги концентрацияси дастлаб ортиб боради (τ_{\max} га етгунча), кейинчалик ($\tau \rightarrow \infty$) камайиб нолга интилади. Қурилмага $\tau=0$ моментда кирган заррача вақтнинг $\tau=0$ дан $\tau=\infty$ гача оралигида қурилмадан чиқиши эҳтимолга яқин.

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

4.13-§. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИКЛАР

Хақиқий суюкликлар трубадан ёки каналлардан оқаётганда босимнинг бир қисми ички ишқаланиш кучини енгшиш учун ҳаракат йўналишини ўзгартирганда ва оким тезлиги ўзгарганда йўқолади. Демак, босимнинг йўқолиши ички ишқаланиш қаршилигини ва маҳаллий қаршилиқни енгшиш учун сарф бўлади.



4.19-расм. Маҳаллий қаршилиқлар:

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

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

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

бу ерда λ — ички ишқаланиш коэффициентини; l — труба узунлиги, м; ω — оқимнинг ўртача тезлиги, м / с; d_s — трубанинг эквивалент диаметри, м; ρ — суюқликнинг зичлиги, кг / м³.

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

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

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

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

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

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

Труба деворларидаги гадир-будурликлар баландлигининг (Δ) трубанинг эквивалент диаметрига (d_s) нисбати *нисбий гадир-будурлик* дейилади ва ϵ билан ифодаланади:

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

Турбулент режим учун ишқаланиш коэффициентини χ ни топишда қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

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

Маҳаллий қаршилиқлардаги босимнинг йўқотилиши қуйидаги тенглама орқали топилади:

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

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

4.2- жа д в а л. Маҳаллий қаршилик коэффициентлари

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

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

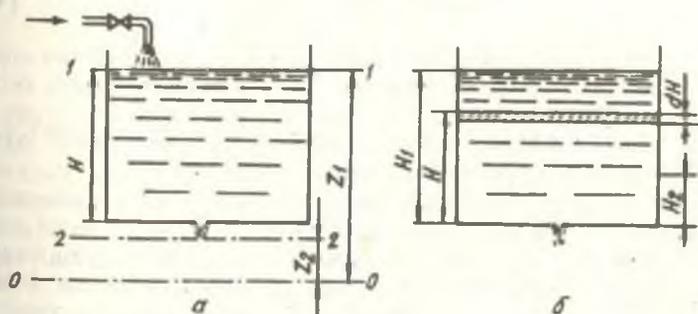
$$\Delta P = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \zeta_{\text{лок}} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (4.42)$$

4.14-§. СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ТЕШИКЛАР ОРҚАЛИ ОҚИБ ЧИҚИШИ

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

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

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



4.20- расм. Идишнинг тешигидан суюқликнинг оқиб чиқиши;

а) ўзгармас баландликда; б) ўзгарувчан баландликда

ги ўзгармаганлиги учун унинг юқориги қисмидаги тезлиги $\omega_1 = 0$, бундан ташқари, $z_1 - z_2 = H$, у ҳолда:

$$\frac{\omega_2^2}{2g} = H. \quad \text{Бундан } \omega_2 = \sqrt{2gH}.$$

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

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

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

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

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

Тезлик ва оқимнинг сиқилиш коэффициентларининг кўпайтмаси *сарф коэффициенти* дейилади ва α билан белгиланади:

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

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

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

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

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

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

бу ерда S_0 — идиш тубидаги тешикнинг кўндаланг кесими.

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

$$dV = -SdH,$$

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

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

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

бундан

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

Суюқликнинг оқиб тушиш вақтини аниқлаш учун бу ифодани интеграллаймиз:

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

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

Демак

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

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

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

4.15-§. СУЮҚЛИКНИНГ ДОНАСИМОН ҚАТЛАМДАГИ ҲАРАКАТИ

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

орасидаги бўшлиқ ҳажми, материалларнинг ўлчами ва шу каби қатталиклар билан ифодаланади.

Баландлиги H ва қўндаланг кесими юза F бўлган донасимон қатламнинг гидравлик қаршилиги ΔP_k ни Дарси — Вейсбах тенгламаси ёрдамида аниқлаш мумкин:

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

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

Қатлам учун Рейнольдс мезони:

$$Re_k = \frac{w_0 d_s \rho}{\mu},$$

бу ерда w_0 — суюқликнинг мавҳум тезлиги.

Мавҳум тезлик суюқлик ҳажмий сарфини қатламнинг қўндаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг: $w_0 = \frac{V}{F}$

Қатлам каналидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлиги:

$$w = \frac{w_0}{\epsilon} \quad (4.48)$$

бу ерда ϵ — қатламдаги бўш ҳажмнинг улуши.

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

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

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

Заррачаларнинг солиштирма юзаси (f_c , м²/м³) ва уларнинг оралигидаги каналларнинг эквивалент диаметри (d_s , м) қуйидаги тенгламалар ёрдамида аниқланади:

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

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

бу ерда d — заррачаларнинг диаметри, м.

Каналларнинг узунлиги қатлам баландлиги орқали аниқланади:

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

бу ерда φ — тажриба коэффициенти, $\varphi > 1$.

d , ω , l қийматларини (4.47) тенгламага қўйиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

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

Ламинар оқим учун қатламнинг қаршилик коэффициентини:

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

Бундай ҳолатда:

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

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

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

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

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

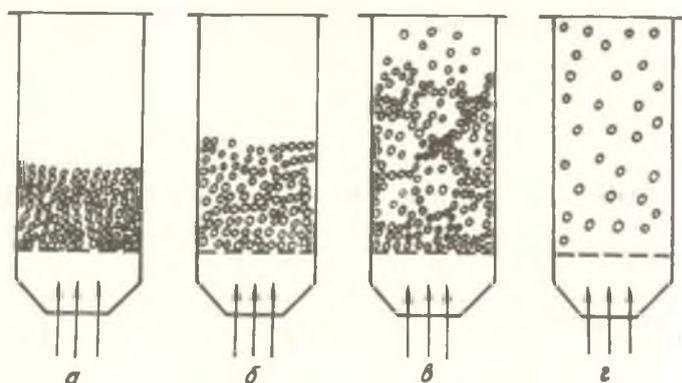
$$\psi = \frac{f_{\omega}}{f_3} \quad (4.57)$$

бу ерда f_3 — текшириляётган заррачанинг ҳақиқий юзаси; f_{ω} — текшириляётган заррачанинг ҳажмига тенг бўлган шарнинг юзаси.

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

4.16-§. МАВҲУМ ҚАЙНАШ

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



4.21- расм. Мавҳум қайнаш қатламининг ҳолатлари:

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

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

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

Мавҳум қайнаш ҳолатида материал заррачаларининг огирлиги G нинг қурилма кўндаланг кесими F га нисбати ўзгармас бўлади:

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

бу ерда ΔP_k — мавҳум қайнаш ҳолатидаги қатламнинг гидравлик қаршилиги, Па.

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

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

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

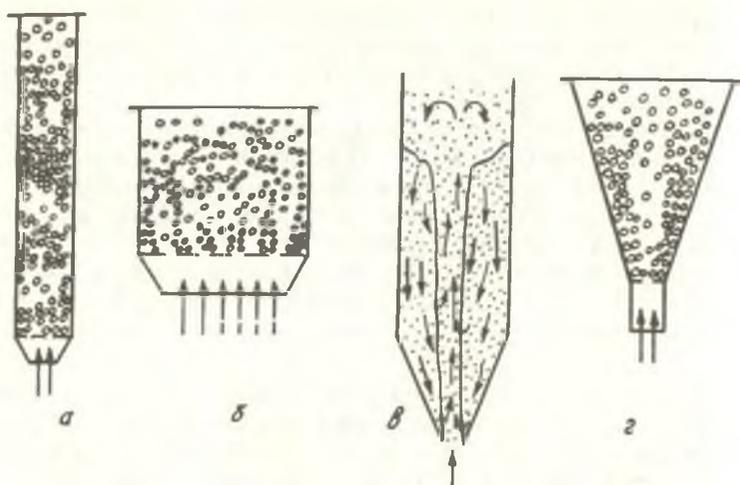
Турли жинсли қатламнинг ҳосил бўлиш даражаси заррачаларнинг юзаси ва шаклига, қаттиқ материал заррачалари ва ҳаракатдаги оқим зичликларининг нисбатига, заррачаларнинг диаметрига, оқимнинг тезлигига, газ тарқатувчи тўрнинг хилига боғлиқ.

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

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

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

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



4.22- расм. Мавҳум қайнаш қатламининг турлари:

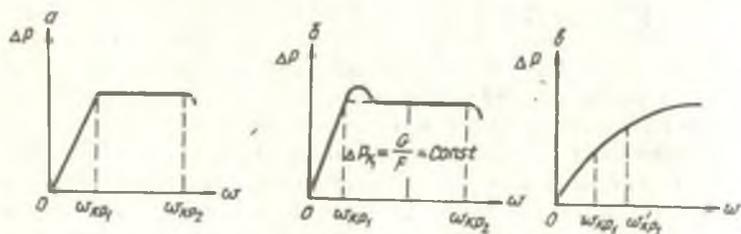
а) поршенли қайнаш қатлами; б) каналли қайнаш қатлами; в, г) фонтансимон қайнаш қатлами

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

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

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

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



4.23- расм. Мавҳум қайнаш эгри чизиклари:

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

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

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

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

бу ерда

$$\text{Re}_{кр} = \frac{\omega_{кр} d \rho}{\mu}; \quad \text{Ar} = \frac{d^2(\rho_{кз} - \rho) g}{\mu^2};$$

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

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

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

(4.61) тенгламадаги ϵ нинг қийматини топиш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади

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

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

$$H(1 - \epsilon) = H_0(1 - \epsilon_0), \quad (4.63)$$

H — мавҳум қайнаш қатламининг баландлиги, м ; ϵ — мавҳум қайнаш қатламидаги заррачалар орасидаги бўшликнинг улуши; ϵ_0 — ўзгармас қатламдаги заррачалар орасидаги бўшликнинг улуши; H_0 — ўзгармас қатлам баландлиги, м .

Мавҳум қайнаш жараёни мавҳум қайнаш сони K_w билан характерланади:

$$K_w = \frac{\omega}{\omega_{кр} l} \quad (4.64)$$

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

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

Заррачаларнинг қатламда ўртача бўлиш вақти;

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

бу ерда G_m — қатламда бўлган қаттик материалнинг массаси, кг; G_c — қаттик материалнинг сарфи, кг/с.

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

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

бу ерда

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

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

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

Тажрибалардан маълум бўлдики, пахта чигитининг эквивалент диаметри d , ва зичлиги ρ унинг тола ушлашлиги T га боғлиқ экан:

$T, \%$	0	2	4	6	8	10	12	14
$d_0, \text{мм}$	5,6	6,1	6,45	6,75	7,02	7,22	7,37	7,55
$\rho, \text{кг/м}^3$	1078	941	843	756	674	601	568	560

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

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

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

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

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

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

$$\eta = 1 + 0,43 T^{0,44}, \quad (4.67)$$

бу ерда T — чигитнинг ташқи юзасидаги толанинг микдори, %.

Каттиқ заррачанинг тола ушлашлик даражаси топилгандан сўнг амалиётда етарли аниқлик билан донасимон-толали материаллар учун мавҳум қайнашнинг биринчи критик тезлигини қуйидаги тенглама орқали ҳисоблаш мумкин:

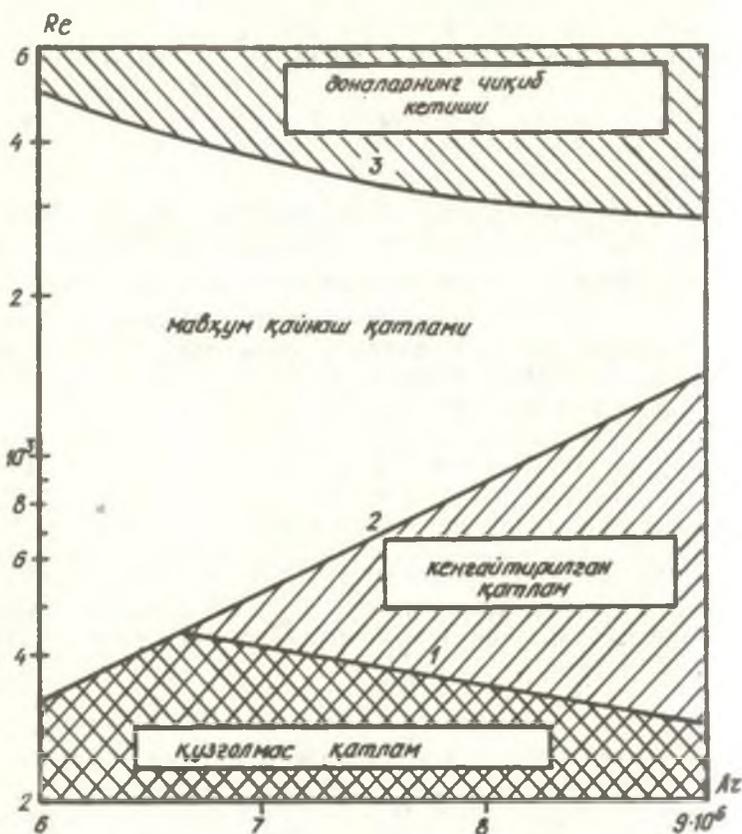
$$Re_{кр} = \eta \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}} \quad (4.68)$$

(4.68) ифода Тодес тенгласининг ўзгарган кўриниши ҳисобланади.

Донасимон-толали материалларнинг қурилмадан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келган тезлик (яъни иккинчи критик тезлик) $\omega_{кр2}$ ни аниқлаш учун қуйидаги тенглама таклиф қилинди:

$$Re_2 = \frac{\eta^{0,422} Ar}{20,16 + 0,683 \sqrt{Ar}} \quad (4.69)$$

Донасимон-толали материаллар бўйича олиб борилган тажриба натижаларини $Re = f(Ar)$ кўринишида қайта ишлаш натижасида кўзгалмас, кенгайтирилган ва мавҳум қайнаш ҳолатларининг чегаралари аниқланилади (4.24-расм).



4.24- расм. Донасимон — толали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегаралари:

1 — қузғалмас ва кенгайтирилган қатламлар ўртасидаги чегара; 2 — мавҳум қайнаш қатламининг пастки чегараси; 3 — мавҳум қайнаш қатламини заррачаларнинг қатламдан чиқиб кетиш ҳолати ўртасидаги чегара.

4.24- расмдан кўришиб турибдики, мавҳум қайнашнинг критик ҳолатгача бўлган зонасида ($K_{\Sigma} < 1$) фақат донасимон-толали материалларга хос бўлган қатламнинг кенгайиши юз беради. Бу зонада қатламнинг кенгайиши чигитнинг ташки юзасида тола ушлашлик даражаси η га боғлиқ бўлиб, қуйидаги чегараларда ўзгаради: $\frac{H}{H_0} = 1,05 \div 1,8$.

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

$$Re_{кр} = (431,2 - 111,15\eta)P^{0,183} \quad (4.70)$$

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

(4.70) тенгламадан $\eta = 1 \div 2.43$ ва P нинг қиймати 100 кг/м^2 га-ча бўлганда қўлланса бўлади.

Шундай қилиб, Тошкент кимё-технология институтида олиб борилган тадқиқотлар натижасида донасимон-толали материалларнинг мавҳум қайнаш ҳолатида бўла олиш чегаралари аниқланди. Қўзғалмас ва кенгайтирилган қатламлар ўртасидаги чегара чизиғи (4.70) тенглама ёрдамида, мавҳум қайнаш ҳолатининг пастки чегараси (4.65) тенглама орқали, заррачаларнинг қурилмадан-газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолати эса (4.69) тенглама билан ҳисобланиши мумкин. Демак, донасимон-толали материаллар учун мавҳум қайнаш ҳолат 2 ва 3- чегара чизиқлари оралиғида мавжуд бўлади. Бу ҳолатнинг чегара қийматларини 4.24- расмдан олиш мумкин.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 4.1. Техникавий гидравликанинг асосий вазифалари. Идеал ва ҳақиқий суюқлик ўртасида қандай фарқ бор?
- 4.2. Гидростатик босим. Босимнинг қиймати қандай ўлчов бирликлари орқали ўлланади?
- 4.3. Суюқликнинг мувозанат ҳолатини қайси дифференциал тенглама билан ифодалаш мумкин? Гидростатиканинг асосий тенгламаси қандай қўринишга эга?
- 4.4. Ньютон ва ноньютон суюқликларнинг асосий хусусиятлари. Ноньютон суюқликлар неча турга бўлинади?
- 4.5. Оқимнинг узлуксизлиги. Суюқликнинг тезлиги ва сарфини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.6. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер ва Навье-Стокс дифференциал тенгламалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 4.7. Идеал ва ҳақиқий суюқликлар учун Бернулли тенгламалари.
- 4.8. Суюқликларнинг ҳаракат режимлари. Рейнольдс мезонининг критик қиймати. Тезликларнинг труба кўндаланг қесими бўйича тақсимланиши.
- 4.9. Суюқлик оқимининг тузилиши. Оқимнинг физик моделлари.
- 4.10. Гидравлик қаршиликлар. Ишқаланиш коэффициентининг қийматини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.11. Суюқликнинг тешиқлар орқали оқиб чиқишини ифодалайдиган асосий тенгламалар.
- 4.12. Суюқликнинг донасимон қатламдаги ҳаракати. Қатламнинг гидравлик қаршилигини қайси тартибда ҳисоблаш мумкин?
- 4.13. Мавҳум қайнаш ҳолатининг асосий хусусиятлари. Биринчи ва иккинчи критик тезликлар қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 4.14. Донасимон-толали материалларнинг гидродинамикаси. Бундай қатламдан газ оқими ўтганда нечта зона ҳосил бўлади?
- 4.15. Донасимон-толали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегараларини аниқлаш учун қандай тенгламалар тақлиф этилган?
- 4.16. Суюқликларни трубопровод орқали узатиш учун энергия сарфини ва оқимнинг муқобил тезлигини аниқлаш.
- 4.17. Суюқликнинг плёнкали ҳаракатининг кимёвий технологияда ишлатилиши. Плёнканинг қалинлигини қандай қилиб аниқлаш мумкин?

5-б о б. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРНИ УЗАТИШ

5.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кимё саноатининг барча тармоқларида суюқликлар, газлар, буглар, пластик ва сочилувчан материаллар трубопроводлар ёрдамида узатилади. Суюқлик ва газларни узатиш учун гидравлик машиналар ишлатилади. Механик ишни оқимнинг энергиясига айлантирувчи қурилма *гидравлик машина* деб юритилади.

Гидравлик машинанинг энергияси оқимга тезлик беришдан ташқари узатиш йўлидаги қаршиликларни енгиш учун ҳам сарф бўлади. Ушбу машиналар асосан икки гуруҳга бўлинади: 1) насослар — суюқликларни узатиш учун; 2) компрессорлар — газларни нормал босимдан юқори босимгача сиқиш ва уларни узатиш учун.

Насослар асосан икки турга: динамик ва ҳажмий насосларга бўлинади. Динамик насосларда суюқлик ташқи куч таъсирида ҳаракатга келтирилади. Насос ичидаги суюқлик насосга кириш ва ундан чиқиш трубалари билан узлуксиз боғланган бўлади. Суюқликка таъсир қиладиган кучнинг турига кўра динамик насослар парракли ва ишқаланиш кучи ёрдамида ишлайдиган насосларга бўлинади.

Парракли насослар ўз навбатида марказдан қочма ва пропеллерли (ўқли) насосларга бўлинади. Марказдан қочма насосларда суюқлик иш гилдиракларнинг марказидан унинг четига қараб ҳаракат қилса, пропеллерли насосларда эса суюқлик гилдиракнинг ўқи йўналишида ҳаракат қилади.

Ишқаланиш кучига асосланган насослар икки хил (уюрмавий ва оқимли) бўлади, Уюрмавий ва оқимли насосларда суюқлик асосан ишқаланиш кучи таъсирида ҳаракатга келади. Ҳажмий насосларнинг ишлаш принципи суюқликнинг маълум бир ҳажмини ёпиқ камерадан итариб чиқаришга асосланган. Ҳажмий насослар жумласига поршенли, плунжерли, диафрагмали, тишли, пластина-ли ва винтсимон насослар киради.

Саноатда суюқликларни сиқилган газ (ёки ҳаво) ёрдамида узатиш учун эрлифтлар ва монтежюлар ҳам ишлатилади.

Трубаларнинг бошлангич ва охири нукталаридаги босимлар фарқи трубалардан суюқликнинг оқиши учун ҳаракатлантирувчи куч ҳисобланади. Насос электр двигателдан механик энергия олиб, уни суюқликнинг ҳаракатланаётган оқим энергиясига айлантириб, босимни оширади. Худди суюқликлар каби газлар ҳам босимлар фарқи бўлгандагина узатилади. Сиқилган газ босими P_2 нинг сиқилмаган газ босими P_1 га нисбати сиқиш даражаси дейилади. Сиқиш даражасининг катталигига қараб компрессор машиналар қуйидаги типларга бўлинади:

а) *вентильторлар* ($P_2/P_1 < 1,1$) — кўп микдордаги газларни узатиш учун фойдаланилади;

б) газодувкалар ($1,1 < P_2/P_1 < 3$) — газ трубаларида катта қаршилик бўлганда ишлатилади;

в) компрессорлар ($P_2/P_1 < 3$) — юкори босим ҳосил қилиш учун ишлатилади;

г) вакуум насослар — босими атмосфера босимидан паст бўлган газларни сўриш учун ишлатилади.

Ишлаш принципига кўра компрессорлар ҳажмий ва парракли бўлади.

Ҳажмий компрессорларда газ босими унинг ҳажмини мажбурий камайтириш ҳисобига кўпаяди. Ҳажмий компрессорлар жумласига поршенли, ротацион ва винтли компрессорлар киради.

Парракли компрессорларда газ босими компрессорнинг гилдираклари айланганида вужудга келадиган инерция кучлари таъсирида кўпаяди. Улар *трубокомпрессорлар* ҳам дейилади.

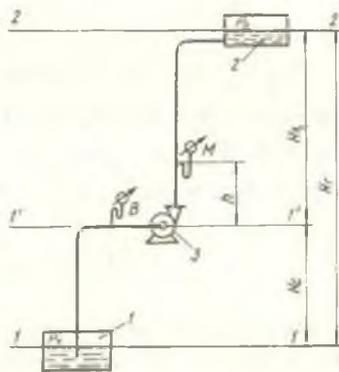
Насослар, вентиляторлар, газодувкалар, компрессорлар ва вакуум насослардан фойдаланиш бир қатор катталиклар билан характерланади: иш унумдорлиги (Q м³/с); босим (H , м суюклик устуни); истеъмол қиладиган қувват (N , кВт).

5.2-§. НАСОС БОСИМИ ВА СЎРИШ БАЛАНДЛИГИ

Умумий босим. Суюкликни пастки идишдан (5.1-расм) сўриш ва ҳайдаш трубалари орқали ҳайдаш учун двигатель насосга зарур энергия бериши, яъни насос босими (напор) ҳосил қилиши лозим.

Насоснинг умумий босимини 5.1-расмдаги насос қурилмасидан аниқлаш учун сўриш ва ҳайдаш трубалари учун Бернулли тенгламасининг ўзгаришидан фойдаланамиз. Бунинг учун сўриш ва ҳайдаш вақтидаги параметрларнинг ўзгаришини куйидаги тартибда аниқлаймиз:

P_1 — суюклик сўриб олинаётган идишдаги босим; P_2 — юкорида жойлашган идишдаги босим; P_c , P_x — суюкликнинг насосга киришидаги ва чиқишидаги босими; H_c — сўриш баландлиги; H_x — ҳайдаш баландлиги; H — суюкликнинг геометрик қутарилиш баландлиги; h — вакуумметр ва манометр ўрнатилган нуқталар орасидаги вертикал масофа.



5.1-расм. Насоснинг умумий босимини аниқлаш:

1 — суюклик узатиладиган резервуар.
2 — суюкликни қабул қилувчи резервуар.
3 — насос; М — манометр; В — вакуумметр.

Насоснинг босимини аниқлаш учун пастки идишдаги суюқлик баландлигининг текислигига нисбатан сўриш вақтидаги 1—1 ва 1'—1' кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = H_c + \frac{w_c}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + h_c. \quad (5.1)$$

Худди шунингдек, насос ўқидан ўтувчи текисликка нисбатан ҳайдаш вақтидаги 1—1 ва 2—2 кесимлар учун Бернулли тенгламасини ёзамиз:

$$\frac{P_{x_1}}{\rho g} + \frac{w_{x_1}^2}{2g} = H_{x_1} + \frac{w_2^2}{2g} + \frac{P_2}{2g} + h_{x_1}, \quad (5.2)$$

бу тенгламаларда: w_1, w_2 — пастки ва юқориги идишлардаги суюқликнинг тезлиги; w_c, w_x — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги суюқлик тезлиги; h_c, h_x — сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган босим миқдори.

Сўриш ва ҳайдаш трубаларидаги тезликка нисбатан пастки ва юқориги идишлардаги суюқлик тезлигининг ўзгариши жуда кичик бўлиб, у нолга тенг ($w_1=0; w_2=0$).

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

$$H = \frac{P_c - P_x}{\rho g}, \quad (5.3)$$

(5.1) ва (5.2) тенгламалардан айирмалар фарқини аниқласак:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{w_c^2 - w_x^2}{2g} + H_c + H_x + h_c + h_x. \quad (5.4)$$

Бунда $w_c = w_x$, чунки ҳайдаш ва сўриш трубаларининг диаметри бир хил. $h_y = h_c + h_x$ трубанинг умумий гидравлик қаршилиги. Бундан ташқари, 5.1-расмдан: $H_c + H_x + H_r$. Бу ҳолда (5.4) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = H_r + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_y. \quad (5.5)$$

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

$$H = H_r + h_y. \quad (5.6)$$

Суюклик горизонтал трубалар оркали узатилса ($H_r = 0$):

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_v. \quad (5.7)$$

Худди шунингдек, насоснинг умумий босимини манометр ва вакуумметрнинг кўрсатиши бўйича ҳам аниқлаш мумкин:

$$H = \frac{P_n + P_{\text{вак}}}{\rho g} + h. \quad (5.8)$$

Шундай қилиб, насоснинг умумий босими манометр ва вакуумметрлар (узатилаётган суюклик устуни метр ҳисобида) кўрсатишларининг йиғиндиси билан бу асбоблар уланган нукталар орасидаги вертикал масофанинг (h) йиғиндисига тенг.

Сўриш баландлиги. Пастки идишдаги суюкликнинг эркин сиртига (5.1- расм) атмосфера босими P_0 таъсир этади. Суюклик сўриш трубаси оркали баландликка кўтарилиб, насоснинг иш камерасини тўлдириши учун бу камерада сийракланиш (яъни вакуум) вужудга келтириш керак. Бунда иш камерасига қолдиқ абсолют босим $P_c < P_0$ таъсир этади. Босимлар фарқи ($P_0 - P_c$) ҳосил бўлганлиги сабабли суюклик устунининг метрларда ифодаланган босими $(P_0 - P_c)/\rho g$ ҳосил бўлади. Бу босимнинг бир қисми суюкликни сўриш трубасида H баландликка кўтариш учун, қолган қисми эса суюкликнинг трубада w тезлик билан ҳаракатланишига ёки тезлик босимини ҳосил қилиш учун ва сўрилаётган суюклик йўлида учрайдиган барча қаршиликларни энгишга сарфланади. У ҳолда:

$$\frac{P_0}{\rho g} - \frac{P_c}{\rho g} = H_c + \frac{w^2}{2g} + h_c. \quad (5.9)$$

Узатилаётган суюкликнинг қайнаб кетишини ҳисобга олган ҳолда (у доим сўрилиши учун) сўрилиш трубаларидаги босим шу температурадаги суюкликнинг тўйинган буг босими P_t дан юқори бўлиши керак. Бунда насоснинг нормал ишлаши учун тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{P_c}{\rho g} = \frac{P_0}{\rho g} - \left(H_c + \frac{w^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{P_t}{\rho g}$$

Бу ердан

$$H_c \leq \frac{P_0}{\rho g} - \left(\frac{P_t}{\rho g} + \frac{w^2}{2g} + h_c \right) \quad (5.10)$$

Температура ортиши билан суюкликнинг тўйинган буг босими ҳам ортиб, у қайнаш температурасида ташқи атмосфера босимига тенглашади, бу вақтда сўриш баландлиги нолга тенг бўлади. Шунинг учун қовушоқлиги юқори ва иссиқ суюкликларни

узатаётганда насос қабул қилувчи идишга нисбатан пастрок ўрнатилиши зарур.

Насослар сўриш баландлигининг узатилаётган сув температураси билан боғлиқлиги 5.1-жадвалда берилган.

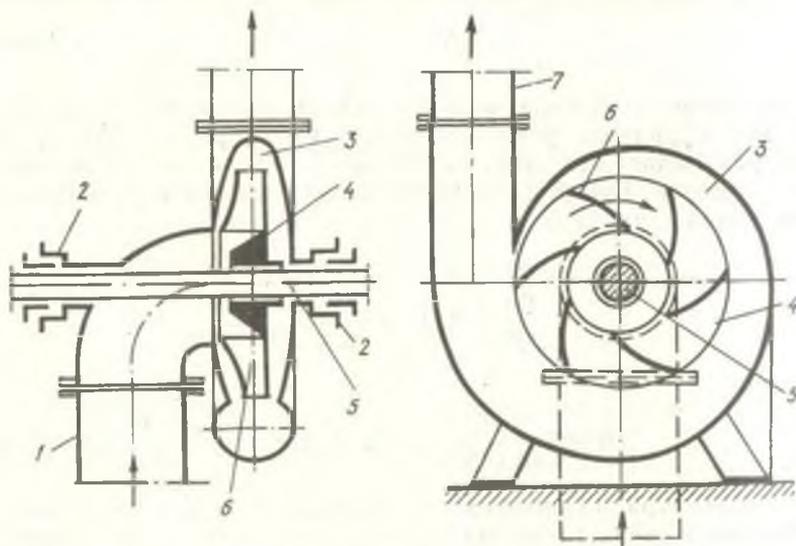
5.1-жадвал. Сўриш баландлигининг ўзгариши

Сувнинг температураси, °С	10	20	30	40	50	60	65
Сўриш баландлиги, м	6	5	4	3	2	1	0

Худди шунингдек, сўриш баландлигини ҳисоблашда гидравлик ва маҳаллий қаршиликларни енгилуш учун кетган сарфлардан ташқари, марказдан қочма насосларда кавитация ходисаси, поршенли насосларда эса инерцион куч таъсирида бўладиган босим йўқолишлари инobatга олиниши лозим.

5.3-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА НАСОСЛАР

Ишлаш принципи. Марказдан қочма насосларда спиралсимон қобиқ ичида парракли иш гилдирак жойлашган бўлади. Иш гилдиракнинг айланишида марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида суюқликнинг сўрилиши ва уни хайдаш бир меъёрда узлуксиз боради. 5.2-расмда марказдан қочма насос схемаси кўрсатилган. Сўриш труба­си орқали таъминловчи идишдан кўтарилган суюқлик иш гилдиракнинг марказий қисмига қиради.



5.2-расм. Марказдан қочма насос:

1 — сўриш труба­си; 2 — сальник; 3 — қобиқ; 4 — иш гилдираги; 5 — иш гилдирагининг қурақлари; 6 — хайдаш труба­си.

Сўнгра иш гилдирагининг кураклари орасидан ўтиб, насос камерасига тушади. Бу ерда марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босим суюқликни ҳайдаш трубасига сиқиб чиқаради. Бунда иш гилдирагига кириш олдида сийракланиш вужудга келади. Кураклар орасидаги каналлардан суюқлик бир текисда ҳайдаш трубасига берилиши ва суюқлик тезлигини аста-секин камайтириб, суюқлик босимини ошириш учун кўзгалмас қобик спиралсимон шаклда тайёрланади. Суюқликнинг ҳайдаш трубасида маълум миқдордаги тезлик билан оқишини таъминлаш учун насоснинг камераси йўналтиргич ва диффузор каби бир қанча мосламалардан фойдаланилади. Насосдаги сўрилиш қабул қилувчи идишдаги суюқлик сатҳига таъсир қилувчи босим билан сўриш трубасидаги сийракланиш босими орасидаги фарқ ҳисобига амалга ошади.

Насоснинг ишлашини текшириб кўриш учун сўриш линиясига вакуумметр ва ҳайдаш трубасига эса манометр ўрнатилади. Бундан ташқари, насосда узатилаётган суюқликнинг миқдорини ростлаб туриш учун ҳайдаш трубасига кран, вентиль ёки задвижка ўрнатилади. Насос қисқа муддатга тўхтатилганда, шунингдек, иш гилдираги суюқлик билан тўлдирилганда, суюқлик тушиб кетмаслиги учун сўриш трубасига клапан ўрнатилади.

Гилдираклар сонига қараб марказдан қочма насослар бир ва кўп босқичли бўлади. Бир босқичли насосларда ҳосил бўладиган умумий босим 50 метрдан (айрим ҳолларда 70 метрдан) ошмайди. Кўп босқичли насосларда суюқлик бир валга кетма-кет уланган иш гилдираклари орқали ўтади. Бундай гилдиракларда босим белгиланган миқдорларгача аста-секин ортиб боради. Ҳозирги кунда ишлатилаётган кўп босқичли насосларнинг босими 20 мПа гача боради.

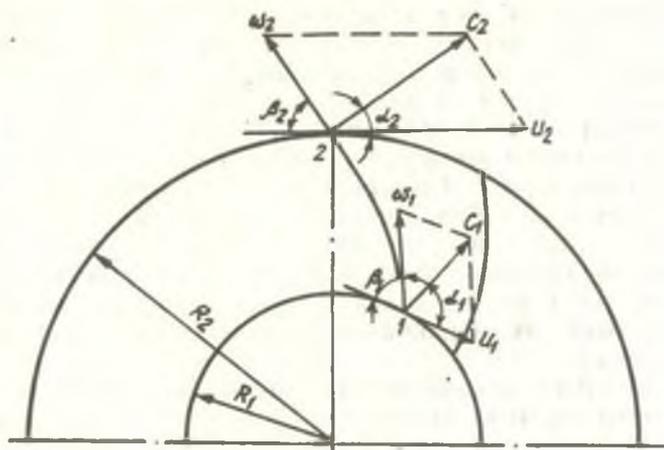
Марказдан қочма насосларнинг вали ҳам горизонтал ҳам вертикал жойлашган бўлиши мумкин.

Марказдан қочма насосларнинг характеристикалари. Иш гилдирагининг паррақлари ёрдамида ҳосил бўлган назарий босим H_0 (метр ҳисобида) Бернулли тенгламасига асосан қуйидаги тенглама билан ифодаланади.

$$H_0 = \frac{U^2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1^2 C_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (5.11)$$

бу ерда U — суюқлик оқимчасининг айланма тезлиги; C — гилдирак каналидаги суюқликнинг абсолют тезлиги, бу тезлик U ва W тезликларининг геометрик суммаси ҳисобланади (5.3-расм); W — суюқликнинг нисбий тезлиги; α — суюқликнинг иш гилдирагининг паррагига кириш бурчаги; 1 ва 2 кўрсаткичлар суюқликнинг каналга кириши ва ундан чиқишини белгилайди.

(5.11) ифода Эйлер томонидан ишлаб чиқилган бўлиб, марказдан қочма машиналарнинг асосий тенгламаси деб юритилади.



5.3- расм. Марказдан қочма насос иш гилдираги каналларидаги суюқлик ҳаракатининг чизмаси.

Максимал қийматдаги босим олиш учун суюқлик гилдиракнинг паррагига $\alpha = 90^\circ$ бурчак билан, яъни радиал йўналишда берилиши керак. Бундай шароитда (5.11) тенглама соддалашади, чунки $\cos 90^\circ = 0$:

$$H_0 = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (5.12)$$

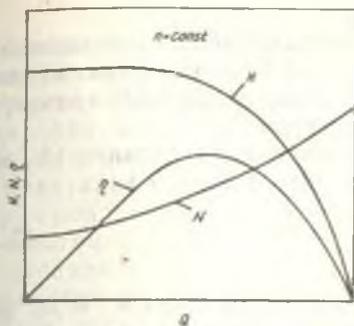
Насос гилдирагининг ичидаги гидравлик қаршиликни енгиш учун ва эгри чизиқли каналда суюқлик оқимчалари траекторияларининг ҳар хил бўлишлиги сабабли, ҳақиқий босим назарий босимга нисбатан доимо кам бўлади:

$$H = H_0 \eta_r \eta_u, \quad (5.13)$$

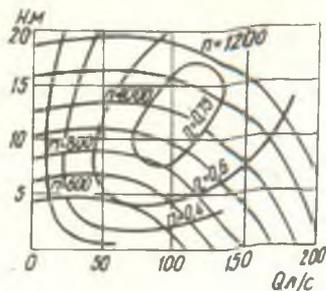
бу ерда η_r — насоснинг тузилиши ва ўлчамларига боғлиқ бўлган гидравлик фойдали иш коэффициенти ($\eta_r = 0,7 \div 0,9$); η_u — паррақларнинг сонига боғлиқ бўлган коэффициент ($\eta_u = 0,56 \div 0,84$), ўрта ҳисобда $\eta_u = 0,8$)

Гидравлик фойдали иш коэффициенти ва назарий босимнинг қиймати паррақларнинг қиялик бурчаги β_2 ва унинг шаклига ҳам боғлиқ бўлади (5.3- расм). Орқа томонга эгилган ($\beta_2 < 90^\circ$) паррақларнинг гидравлик қаршилиги кам бўлади. Одатда турли марказдан қочма насослар учун $\beta_2 = 14 \div 60^\circ$, $\beta_1 = 20 \div 40^\circ$ бўлади, бундай шароитда суюқлик насосга зарбасиз киради ва бир текисда чиқади.

Иш гилдиракнинг айланишлар сони n ўзгармас бўлганда насос иш унумдорлиги Q нинг босим H , насоснинг ўз қуввати N ва фойдали иш коэффициенти η билан график усулдаги боғлиқлиги



5.4- расм Марказдан қочма насоснинг иш характеристикаси.



5.5- расм. Марказдан қочма насоснинг универсал характеристикаси.

насосларнинг характеристикалари деб юритилади (5.4- расм). Бундай график боғлиқликлар марказдан қочма насосларни текшириш пайтида тузилади. Бунда ҳайдаш линиясидаги задвижканинг очилиши ҳар хил қилиб олинади. Задвижка берк бўлганда (яъни $Q=0$) насос оладиган минимал қувват унинг салт ишлашига мос келади. Бундай шароитда фойдали иш коэффициентини ҳам $\eta=0$ бўлади, чунки насос суюқликни узатишга оид фойдали иш бажармайди, салт ишлаш қуввати эса насосдаги барча ишқаланишлар (подшипниклардаги ва ўқ зичлагичларидаги ишқаланишлар, насос қобигини тўлдирувчи суюқликнинг насос паррагига ишқаланиши ва бошқалар) таъсирида вужудга келадиган механик исрофларни қоплашга сарфланади.

Иш унумдорлигини задвижкани очиш билан кўпайтирсак, насоснинг босими камайиб, насос оладиган қувват ортиб боради ва фойдали иш коэффициентини максимал қийматга эга бўлади. Бу ҳол шуни кўрсатадики, айланиш ғилдирагининг тезлиги ўзгармас бўлганда, насоснинг характеристикасидан фойдаланиб энергиядан энг тежамли фойдаланиш режимини топиш мумкин.

Насоснинг турли режимда ишлаш қобилиятини универсал характеристикадан аниқлаш қулай. Иш ғилдирагининг айланиш сони (n айл/мин) ҳар хил бўлганда босим (H , м), фойдали иш коэффициентини (η , %) ва иш унумдорлиги (Q , м³/с) ўртасидаги боғлиқлик насоснинг универсал характеристикаси деб аталади (5.5- расм).

Бундай характеристикани ҳосил қилиш учун турли айланиш сони (n_1, n_2, n_3, \dots) да Q учун характеристика тузамиз. Сўнгра бу характеристикаларда бирор фойдали иш коэффициентига тегишли нуқталарни ажратамиз (5.5- расмдан кўринадики, битта фикнинг қиймати учун иккита босим миқдори тўғри келади). Бу нуқталарни туташ чизик билан бирлаштирамиз. Шу ишни бир қанча фик ($\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$) лар учун тикрорлаб, бир қанча туташ чизиклар оламиз. Бу чизиклар билан чегараланган соҳада фик чизикдаги қийматдан кичик бўлмайди. 0—85% чизиги берилган айланиш сонларида максимал фик га тўғри келади.

Универсал характеристикадан фойдаланиб, насоснинг (максимал фик га тегишли) ишлаш чегарасини топиш ва унинг ишлаши учун энг кулай режим танлаш мумкин. Насосларнинг характеристикалари тегишли каталогларда келтирилади.

Насос двигателининг истеъмол қиладиган қуввати (N , кВт) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$N = \frac{Q \rho g H}{10^3 \eta} \quad (5.14)$$

бу ерда Q — насоснинг хажмий иш унумдорлиги, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ — узатилаётган суюқликнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; H — насосда ҳосил бўлган босим, м суюқлик устуни; η — насос қурилмасининг умумий фойдали иш коэффициентини.

Насос қурилмасини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватни аниқлашда қувватнинг запаси коэффициентини ҳисобга олинади:

$$N_{\text{урн}} = \beta N. \quad (5.15)$$

бу ерда β — қувватнинг запас коэффициентини.

Қувватнинг запас коэффициентини N нинг қийматига қўра танлаб олинади (5.2-жадвал)

5. 2-жадвал. Қувват запас коэффициентининг қийматлари

Насос двигателининг истеъмол қиладиган қуввати, кВт	1	1,5	5—50	50
Қувватнинг запас коэффициентини	2—1,5	1,5—1,2	1,2—1,15	1,1

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

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.16)$$

Суюқликнинг тегишли H_1 ва H_2 босимлари айланишлар частотасининг квадратлари нисбатига пропорционал:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (5.17)$$

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

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (5.18)$$

Демак, насос гилдирагининг айланишлар частотаси ортиши билан унинг иш унумдорлиги биринчи даражада, талаб қилинадиган қувват эса учинчи даражада ошади. Аммо амалда пропорционаллик қонуни гилдирак айланишлар частотасининг икки мартадан кам ўзгарган шароитдагина ўз кучини саклайди.

Кавитация ҳодисаси. Насос гилдирагининг тез айланишида ва иссиқ суюқликлар марказда қочма насослар ёрдамида узатилганда кавитация ҳодисаси юз беради. Бу вақтда насосдаги суюқлик тез бугланади. Ҳосил бўлган буг суюқлик билан юқори босимли зонага ўтиб тезда конденсланади. Натижада насос қобигида катта бушлиқ ҳосил бўлади, насос қаттиқ силкинади ва тақиллаб ишлайди. Насос кавитация режимида кўпроқ ишласа у тезда бузилади. Шунинг учун температураси юқори бўлган суюқликларни узатаётганда бу ҳодиса қўшимча кавитацион коэффициент билан ҳисобга олиниши керак.

Кавитация оқибатида насоснинг иш унумдорлиги, босими ва фойдали иш коэффициенти камаяди. Кавитация ҳодисасининг олдини олиш учун иш гилдирагининг айланиш сонини камайтириш керак. Кавитация таъсирида насос сўриш баландлигининг камайиши (ёки кавитацион коэффициент) ни қуйидаги тенглама орқали аниқласа бўлади:

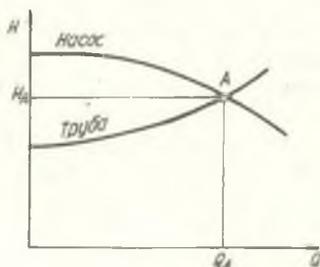
$$h_{\text{кав}} = 0,00125(Qn^2)^{0,67} . \quad (5.19)$$

(5.19) тенгламадан кўриниб турибдики, кавитацион коэффициентнинг қиймати насоснинг иш унумдорлиги ва айланиш частотасининг сонига боглиқ экан.

Насоснинг иш нуқтаси. Насосни танлашда суюқлик узатилаётган трубаларнинг ёки система тармоқларининг характеристикалари эътиборга олинади. Трубкаларнинг характеристикаси суюқлик сарфи билан унинг трубаларидаги ҳаракати учун керак бўладиган босим орасидаги боғланишни ифодалайди.

Насос ва трубанинг ўзаро боғланиш характеристикаси 5.6-расмда кўрсатилган. Иккала характеристиканинг кесишган нуқтаси А. насоснинг иш нуқтаси дейилади. Бу нуқтада насос шу труба тармоғида энг юқори унумдорликка эга бўлади. Бундан ҳам юқорирок унумдорликка эришиш учун гилдиракларнинг айланишлар частотасини кўпайтириш ёки трубадаги гидравлик қаршиликларни камайтириш керак. Бу вақтда насоснинг иш нуқтаси насос характеристикасининг графигида ўнг томонга сурилади. Танланган насоснинг иш нуқтаси талаб қилинадиган унумдорлик ва босимга мос бўлиши зарур.

5.6-расмдан маълумки, берилган труба учун насоснинг иш унумдорлиги Q_A ва босими эса H_A га тенг бўлади. Агар Q_A нинг қиймати оши-



5.6-расм. Насос ва труба-нинг ўзаро боғланиш характеристикаси.

рилса трубанинг гидравлик қаршилиги кўпайиб кетади ва натижада Q нинг миқдори камаяди.

Марказдан қочма насосларни бошқариш. Насосларнинг иш унумдорлигини уларнинг айланиш частотасини ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин. Аммо бу усулдан ўзгарувчан ток билан ишлайдиган асинхрон электр двигател бўлганда фойдаланиш мумкин эмас. Амалиётда насоснинг иш унумдорлиги ҳайдаш трубасида ўрнатилган задвижка ёрдамида ўзгартирилади. Марказдан қочма насослар ўзини ўзи бошқариш қобилятига эга, яъни ҳайдаш трубкасидаги қаршиликларнинг кўпайиб ёки камайишига кўра уларнинг иш режимлари ўзгариб боради.

Насосларнинг иш унумдорлигини ошириш учун уларни параллел, агар босимини кўтариш керак бўлса (айниқса Q нинг қиймати кам бўлганда) — кетма-кет улаш максадга мувофик бўлади. Камчилиги: насосни ишлатиш учун олдидан иш ғилдиракларини суюқлик билан тўлдириш керак, фойдали иш коэффициенти юқори эмас ($\eta = 0,6 \div 0,7$).

Марказдан қочма насослар бир қатор афзалликларга эга: 1) мустаҳкам ва узок вақт ишлатиш мумкин; 2) суюқлик узлуксиз ва бир меъёردа узатилади; 3) иш унумдорлиги юқори; 4) ишлатиш қулай; 5) вазни енгил ва ўлчамлари кичкина; 6) поршенли насосларга нисбатан арзон; 7) ҳамма қисмлари қуйма шаклда оддий тайёрланган; 8) унумдорлигини ҳайдаш трубасидаги силжитувчи механизм ёрдамида ўзгартириш мумкин. Ана шу афзалликлар сабабли марказдан қочма насослар халқ хўжалигининг барча тармоқларида ишлатилади.

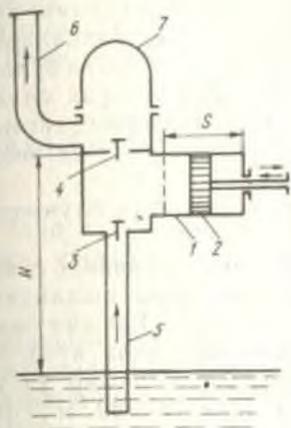
5.4-§. ПОРШЕНЛИ НАСОСЛАР

Ишлаш принципи. Поршенли насосларда суюқлик ҳайдаш трубасига йлгарилама-қайтма ҳаракат килувчи механизмлар орқали узатилади. Поршенли насослар воситасида ҳар қандай қовушоқликдаги суюқликларни узатиш мумкин. Поршенли насослардан оз миқдордаги суюқликларни юқори босимда узатишда ва суюқлик сарфи ўзгармас бўлиб, босим кескин ўзгарадиган ҳолларда фойдаланиш қулай. Бу насосларда поршень насос қобиғида горизонтал ва вертикал ҳолатда жойлашган бўлиши мумкин. Ишлаш принципига кўра поршенли насослар оддий, икки босқичли ва кўп босқичли бўлади.

Поршень суюқликни фақат олд томони билан сиқиб чиқарадиган насос *оддий* — *бир томонлама ишлайдиган насос* дейилади.

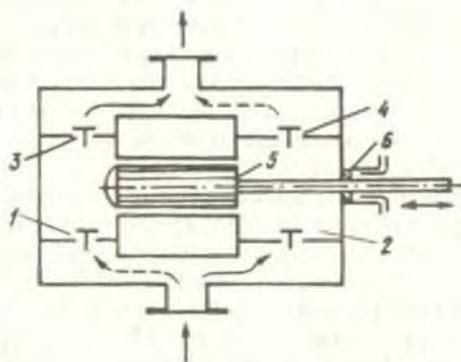
Агар насос цилиндрида поршеннинг иккала томонида жойлашган иш камераси бўлса ва поршень улардан суюқликни кетма-кет сиқиб чиқарса, бундай насос икки босқичли ёки икки томонлама ишлайдиган насос дейилади.

Оддий поршенли насоснинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (5.7- расм). Насос поршени сўриш жараёнида ўнг томонга ҳаракат қилганда иш камерасининг ҳажми катталашади. Ундаги босим эса



5.7-рasm. Поршенли насос:

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



5.8-рasm. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос:

1, 2 — сўрувчи клапанлар; 3, 4 — узатувчи клапанлар; 5 — плунжер; 6 — сальник.

камаяди ва атмосфера босимидан кичик бўлиб қолади. Пастки резервуардаги (насос суюқликни сўриб оладиган бассейндаги) суюқликнинг эркин сирти атмосфера босими P таъсирида бўлади. Атмосфера босими билан пасайтирилган босим P_c орасидаги фарқ таъсирида цилиндрнинг иш камерасида сийракланиш вужудга келади ва суюқлик резервуардан сўриш трубаси бўйлаб цилиндрга кўтарилади ҳамда сўриш клапанини очиб, насоснинг иш камераси бўшлигини тўлдиради. Поршен ўнг чекка ҳолатни эгаллагач, суюқлик иш камерасини тўлдиради ва сўриш клапанини беркитади. Поршеннинг чапдан ўнгга томон тескари ҳаракатида поршен ва иш камераси бўшлигини тўлдирувчи суюқликка босим беради ва уни хайдаш клапани орқали узатиш трубасига чиқариб беради.

Суюқликнинг ҳаракат тезлиги ва босимларнинг пульсацияла-нишини тенглаштириш ҳамда суюқликнинг сўриш ва хайдаш трубаларида бир меъёрда текис оқишини таъминлаш учун насосга махсус қурилма (ҳаво калпоқчалари) ўрнатилади.

5.6-рasmда икки томонлама ишлайдиган горизонтал плунжер-ли насоснинг схемаси кўрсатилган. Бундай насос цилиндрнинг иккала томонида тегишлича сўриш ҳамда хайдаш клапанлари бўлган иккита мустақил иш камераси бор. Плунжер ўнг томонга қараб ҳаракатланганида суюқлик клапан орқали чап камерага сўрилади. Бир вақтнинг ўзида плунжер иккинчи ўнг камерада суюқликни клапан орқали сиқиб чиқаради. Плунжер чап томонга қараб ҳаракатланганида ўнг камерада сўрилиш, чап камерада эса хайдалиш жараёнлари юз беради.

Поршенли насосларда цилиндр орасидан суюқлик сиқиб чиқмаслиги учун поршеннинг ён сиртига металл ёки резинадан

ишланган зичлаш халкалари ўрнатилади: улар цилиндрнинг ички деворига зич ёпишиб туради. Плунжер эса зичлаш халкаларига эга эмас ва узунлигининг диаметрига нисбати анча катта бўлади. Плунжерли насосларда цилиндрнинг ички юзаси жуда силлиқ бўлиши шарт эмас. Плунжерли насослар ёрдамида ифлосланган ва ковушоқлиги кўп бўлган суюқликларни узатиш учун ва юкори босимлар ҳосил қилиш учун ишлатилади.

Кимё саноатида поршенли насосларга нисбатан плунжерли насослар кўпроқ ишлатилади.

Поршенли насосларнинг турлари. Валнинг айланиш сонига кўра поршенли насослар уч турга бўлинади: секин ишлайдиган (40—60 айл/мин); нормал ишлайдиган ($n=60-120$ айл/мин); тез ишлайдиган ($n=120-180$ айл мин ва ундан кўп). Иш унумдорлигининг қийматига кўра поршенли насослар уч хил бўлади: кичик ($Q < 15$ м³/соат); ўрта ($Q = 15 \div 60$ м³/соат); катта ($60 < Q < 150$ м³/соат). Босимнинг қийматига кўра ҳам поршенли насослар уч турга бўлинади: паст босимли ($P < 1$ МПа); ўртача босимли ($P = 1 \div 2$ МПа); юкори босимли ($P > 2$ МПа).

Насоснинг иш унумдорлиги. Поршеннинг бир марта бориб келиш вақти бирлиги ичида насос узатиб берган суюқлик микдори *поршенли насоснинг иш унумдорлиги ёки, бошқача айтганда, узатилиши* дейилади.

Бир томонлама ишлайдиган поршенли насоснинг ўртача назарий иш унумдорлиги (Q , м³/с) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$Q = F \cdot Sn, \quad (5.20)$$

бу ерда F — поршеннинг (ёки плунжернинг) кўндаланг кесим юзаси, м²; S — поршен йўли, м; n — кривошип — шатунли механизмнинг айланиш частотаси, айл/с.

Икки томонлама ишлайдиган поршенли насоснинг ўртача назарий иш унумдорлиги:

$$Q = [FS + (F - f)S]n = (2F - f)Sn,$$

бу ерда f — шток кўндаланг кесимининг юзаси, м².

Шток кўндаланг кесимининг юзаси $2F$ га нисбатан анча кичиклигини ҳисобга олиб, қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$Q = 2FSn. \quad (5.21)$$

Поршенли насоснинг ҳақиқий иш унумдорлиги Q_x назарий иш унумдорликка нисбатан кам бўлади. Оддий бир боскичли поршенли насос учун:

$$Q_x = \eta_o FSn, \quad (5.22)$$

бу ерда η_o — узатиш коэффиценти.

Узатиш коэффиценти суюқликнинг насосдан клапанлар ва бошка зичмас жойлар орқали сизиб чиқишини, шунингдек, камерага хайдалаётган суюқлик билан ҳаво ўтиб, унинг тўлдири-

лишини камайтиришни ҳисобга олади. Бу коэффициентнинг қиймати ўрта ҳисобда $0,8 \div 0,9$ оралигида ўзгаради.

Икки босқичли поршенли насос учун:

$$Q_x = 2\eta_v FSn. \quad (5.23)$$

Қўп босқичли насослар учун:

$$Q_x = i\eta_v FSn. \quad (5.24)$$

Агар валнинг айланиш частотаси айл/мин бўйича берилган бўлса, у ҳолда:

$$Q_x = 60i\eta_v FSn. \quad (5.25)$$

Поршенли насослар қуйидаги афзалликларга эга: иш унумдорлиги юзага чиқаётган босимга боғлиқ эмас; юкори босимда ишлаши мумкин; оз миқдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш имконияти бор; фойдали иш коэффициенти юкори ($0,6 \div 0,9$).

Шу билан бирга поршенли насослар айрим камчиликларга ҳам эга: конструкцияси қўпол ва қўп жойни эгаллайди. Поршеннинг илгарилама қайтма ҳаракати сабабли огир фундамент талаб қилади; ремонт талаб қилувчи бир неча клапанларнинг бўлишлиги; сўриш ва узатиш жараёнлари бир меъёрда бормайди.

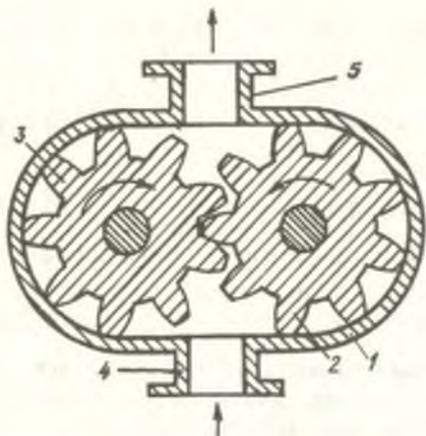
5.5-§. БОШҚА ТУРДАГИ НАСОСЛАР

Ишлаб чиқаришда суюқликларни узатиш учун марказдан кочма ва поршенли насослардан ташқари махсус насослар ҳам ишлатилади. Махсус насослар қовушоқлиги юкори бўлган, жуда ифлосланган, чуқур қудукдаги суюқликларни узатиш учун қўлланилади. Махсус насослар сифатида роторли (тишли, пластинали, винтли), уюрмали, оқимли, пропеллерли насослар, эрлифтлар ва монтежюлар ишлатилади.

Қовушоқлиги жуда юкори, ифлосланган ва узатилиши қийин бўлган суюқликларни узатиш учун роторли насослардан фойдаланилади. Бу насосларда суюқлик айланувчи механизмлар ҳаракати воситасида узатилади. Роторли насослар поршенли насослардан клапан ва ҳаво қалпоқчаларининг йўқлиги билан фарқланади.

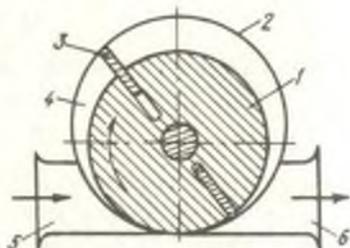
Тишли (шестерняли) насослар. Саноатда қўпинча тишли насослар ишлатилади. Насос қобигида ўзаро илашган ҳолатдаги узлуксиз айланиб турувчи шестернялар жуфти жойлашган (5.9-расм). Шестернялар айланганида бир шестернянинг ҳар қайси тиши илашган ҳолатдан чиқиб, иккинчи шестернянинг чуқурчасидаги тегишли ҳажми бўшатади. Йиғич резервуаридаги атмосфера босими таъсирида суюқлик бўшаган ҳажмга сўрилади. Шестерняларнинг кейинги айланишида тишлар орасидаги суюқлик тишлар билан биргаликда сўриш соҳасидан ҳайдаш соҳасига ўтади.

Шестерняларнинг тишлари яна қайтадан илашган пайтда иккала шестернянинг тишлари орасидаги чуқурчаларни тўлдирган



5.9- расм. Шестерняли насос:

1 — қобик; 2, 3 — бир-бирига илашган тишли шестернялар; 4 — сўрувчи патрубкка; 5 — хайдаш патрубккаси



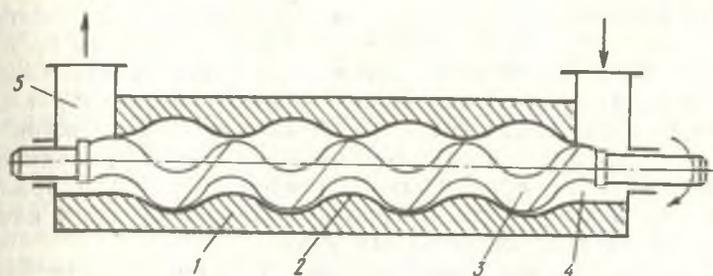
5.10- расм. Пластинкали насос:

1 — ротор; 2 — қобик; 3 — пластиналар; 4 — бушляк; 5 — сўрувчи патрубкка; 6 — узатувчи патрубкка

суюқлик сиқиб чиқарилади ва хайдаш трубасига ўтади. Шестерняли насослар катта айланишлар частотасида (3000 айл/мин гача) ишлай олади, шунинг учун уларни тез айланадиган двигателнинг валига бевосита улаш мумкин. Улар тузилишининг соддалиги, ишончли ишлаши, ўлчамларининг кичиклиги ва арзонлиги билан бошқа насослардан ажралиб туради. Шунинг учун шестерняли насослар амалда кенг ишлатилади.

Пластинали насослар. Бу насосларнинг ҳам ишлаш принципи поршенли насослар каби иш бўшлиги ҳажмининг камайишига асосланган. Бу насос катта цилиндрдан иборат бўлиб, унинг кенглиги бўйича эксцентрик равишда ротор жойлашган (5.10- расм). Цилиндрнинг ичидаги қобикга тўғри бурчакли пластиналар ўрнатилган. Роторнинг айланиши натижасида бу пластиналар марказдан қочма қуч таъсирида цилиндрнинг ички юзасига маҳкам зичланиб, ўроксимон иш бўшлигини қобик ва ротор орасидаги камераларга ажратиб туради.

Пластиналар сўрувчи патрубккадан насоснинг вертикал ўкига томон ҳаракатланганда ҳар бир камеранинг ҳажми кенгаяди, натижада камерада сийракланиш ҳосил бўлиб, сўриш патрубккаси орқали суюқлик сўрилади. Пластиналар вертикал ўқдан ротор йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилганда камераларнинг ҳажми кичиклашади ва суюқлик насосдан сиқиб чиқарилиб, узатиш трубасига берилади. Ротор айланиши натижасида пластиналар вертикал ўққа томон ҳаракатланганда жараён яна такрорланади. Пластинали роторли насослар тоза ҳолдаги, қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.



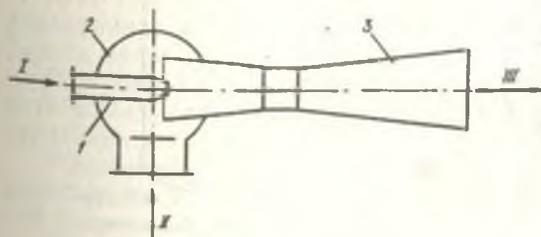
5.11- расм. Винтли насос:

1- кобик; 2- цилиндр; 3- винт; 4- сўриш бўшлиги; 5 — хайдаш патрубкиси.

Винтли насослар. Бу насослар шестерняли насослар сингари ишлайди. Суюқлик сўриш соҳасидан винт уйиқларининг ўлчамлари ўртасидаги ораликқа киради ва винтларнинг айланиш ўқи йўналиши бўйича хайдаш соҳасига ўтади (5.11- расм). Винтли насос суюқликни бир меъёрда узатади. Насоснинг вали бевосита двигателнинг валига бириктирилади.

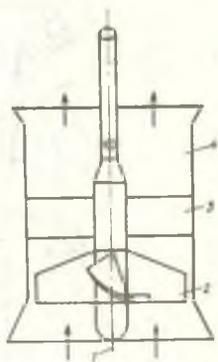
Узатилаётган суюқлик миқдорини ошириш учун икки ва уч винтли насослар ишлатилади. Бу насослар ҳам қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.

Ингичка оқимли насослар. Бундай насосларда суюқликларни узатиш учун иш муҳити сифатида — суюқликлар, газ ва буг ишлатилади. Ингичка оқимли насослардан узатилаётган суюқликларни газ, буг ва конденсат билан аралашиб кетиши мумкин бўлган ҳолатлардагина фойдаланилади. Ушбу насослар суюқликларни хайдаш учун ишлатилса *инжектор*, уларни сўриб олиш мақсадида ишлатилса *эжектор* деб аталади.



5.12- расм. Ингичка оқимли насос:

1 — соқло; 2 — иш ва узатилаётган суюқликларни аралаштириш камераси; 3 — хайдаш трубкиси; I — иш суюқлик оқими; II — узатилаётган суюқлик оқими; III — аралашма.



5.13- расм. Пропеллерли насос:

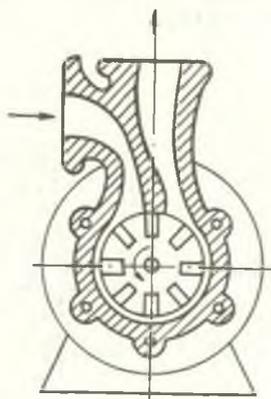
1 — вал; 2 — куракчалар; 3 — йўналтирувчи қисм; 4 — хайдаш патрубкиси.

Ингичка оқимли насоснинг схемаси 5.12- расмда кўрсатилган. Иш суюқлиги торайиб борувчи соплодан ўтаётганида босимнинг бир қисмини йўқотади ва натижада тезлиги ортади. Соплодан чиқиш олдида иш суюқлигининг оқими атрофида сийраклашган босим вужудга келади, труба орқали ҳайдалаётган суюқлик сўриш трубаси ёрдамида аралаштиргич камерасига сўрилади ва иш суюқлиги билан аралашади. Шу йўсинда олинган аралашма диффузорга юборилади. У ерда суюқликнинг тезлиги камаяди, босим ортиб ҳайдаш трубасига ўтади.

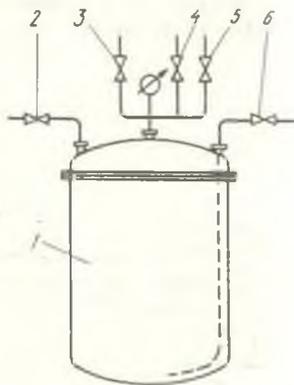
Ингичка оқимли насосларнинг тузилиши содда, уларда ҳаракатланувчи деталларнинг йўқлиги билан бошқа насослардан фарқ қилади. Бундай насосларнинг фики юқори эмас (0,3), улар тез ишдан чиқади, шу сабабли қиммат турадиган насосларни ишлатиш номақбул бўлган жойларда улардан фойдаланилади.

Пропеллерли насослар. Бу насослар кам босимли кўп миқдордаги суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Пропеллерли насослар кўпинча буглатиш қурилмаларида суюқликларни циркуляция қилиш учун қўлланилади. Бу насосларнинг иш гилдираклари пропеллер парраклари шаклидаги бир неча винтсимон қуракчалардан иборат (5.13- расм). Бу насосларни баъзан ўқли насослар ҳам дейилади, чунки суюқлик иш гилдирагидаги винтсимон қуракчалари билан камраб олиниб, гилдирак ўқининг йўналиши бўйлаб айланма ҳаракат қилади.

Пропеллерли насослар ҳосил қиладиган босим унчалик катта эмас ва уларнинг сўрилиш баландлиги ҳам кичик (3 метргача), лекин иш унумдорлиги юқори бўлади. Уларнинг тузилиши оддий: ихчам, вазни енгил, фик марказдан қочма насосларнинг фик ига нисбатан бирмунча юқори. Бундай насослар ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади.



5.14- расм. Уюрмали насос.



5.15- расм. Монтежю:

1 — идиш; 2 — суюқлик кирадиган кран; 3 — сиқилган газ бериладиган кран; 4 — атмосфера билан боғланадиган кран; 5 — вакуум билан боғланувчи кран; 6 — узатиш трубасининг крани.

Ўқли насосларнинг характеристикаси марказдан қочма насосларнинг характеристикасидан фарқ қилади: бундай насосларнинг унумдорлиги $Q=0$ бўлганда истеъмол қиладиган қуввати максимумга етади.

Уюрмали насослар. Бундай насосларда қобик билан иш гилдираги ўртасидаги тиркиш жуда кичик бўлади (0,2 мм). Уюрмали насослар (5.14-расм) таркибида абразив моддаларни ушламаган ва температураси 85°C дан кам бўлган сув ва бошқа суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Қимё саноатида ВС ва ВК маркали уюрмали насослар ишлатилади. Бундай насосларнинг иш унумдорлиги кичик бўлиб ($2 \div 40 \text{ м}^3$ соат), босими эса анча катта бўлади ($12 \div 250 \text{ м}$ суюқлик устуни). Бир хил ўлчамга эга бўлган марказдан қочма насосларга нисбатан уюрмали насосларда ҳосил бўлган босим қиймати 2—5 баробар каттадир.

Монтежю. Ифлосланган, агрессив ва радиоактив суюқларни сиқилган ҳаво ёки инерт газларнинг энергияси ёрдамида унча юқори бўлмаган баландликка узатиш учун монтежю ишлатилади. Монтежю горизонтал ёки вертикал цилиндрсимон резервуардан иборат. У қоққок ёрдамида зич ёпилган бўлиб (5.15-расм), қоққоққа учта патрубкка ўрнатилади. Бу патрубклар ёрдамида монтежюга узатилаётган суюқлик, сиқилган ҳаво берилади. Учинчи патрубкка эса монтежю ичидаги узатувчи труба билан бириктирилади.

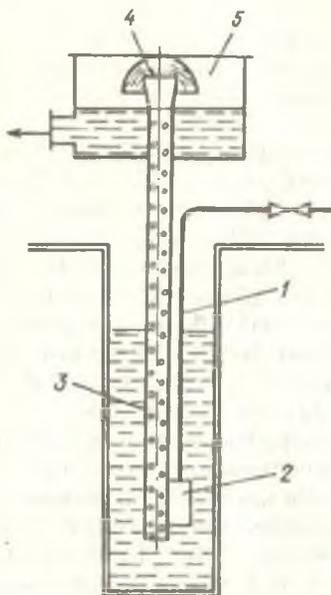
Монтежюга суюқлик труба орқали краннинг очик ҳолатида атмосфера босими остида берилса, ҳаво крани очик бўлиши керак. Агар монтежюга суюқлик вакуум остида берилса, бунда монтежюдаги вакуум крани очик бўлиши керак. Монтежю суюқлик билан тўлдирилгандан кейин, суюқлик тушаётган ҳамда ҳаво ва вакуум линиялари билан уланган кранлар беркитилади. Суюқликни узатиш учун монтежюга кран орқали сиқилган ҳаво берилади ва унинг босими манометр орқали кузатиб турилади. Сиқилган ҳаво босими таъсирида суюқлик оралик ҳайдаш трубаси орқали юқорига кўтарилиб, очик кран орқали узатилади. Монтежюдаги суюқликни узатиб бўлгандан кейин сиқилган ҳаво берувчи ва узатувчи кранлар беркитилиб, ҳаво крани очилади ва жараён такрорланади.

Агар узатилаётган суюқликнинг буги ҳаво билан портловчан, алангаланувчан аралашма ҳосил қилса, бунда сиқилган ҳаво ўрнига инерт газлар ишлатилади.

Монтежю кўпинча суюқликни филтър қурилмаларга узатиш учун ишлатилади, чунки суюқлик бир хил меъёрда ва гидравлик турткисиз узатилади.

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

Эрлифтлар. Бундай насослар катта чуқурликдаги суюқликларни сиқилган ҳаво ёки газ ёрдамида юқорига кўтариш ҳамда айрим қурилмалардаги модда алмашилиш жараёнларини тезлаштириш учун ишлатилади. Эрлифтлар (ҳаво ёрдамидаги кўтаргичлар)



5.16- расм. Эрлифт:

1 — ҳаво ёки газ бериладиган труба; 2 — газ тақсимлагич; 3 — кўтариш трубаси; 4 — томчи ушлагич; 5 — суюқлик йиғилдиган идиш.

нинг ишлаши туташ идишларнинг ишлаш принципига асосланган. Эрлифт кўтариш трубасидан, сиқилган ҳаво берувчи труба ва аралаштиргичдан иборат (5.16- расм). Труба орқали берилган сиқилган ҳаво аралаштиргичда суюқлик билан аралашиб, ҳосил бўлган суюқлик ва ҳаво аралашмасининг солиштирма оғирлиги идиш ичидаги суюқликка нисбатан паст бўлгани учун, кўтариш трубасида юқорига қараб кўтарилади.

Суюқлик ва ҳаво аралашмаси кўтариш трубасидан чиқаётганда ажраткичга урилиб, ҳаво ажралиб чиқиб кетади ва суюқлик йиғичга тушади.

Эрлифтлар ҳар хил суюқликларни, шу жумладан, кислота, ишқорларни юқорига кўтариш учун ишлатилади. Эрлифтларнинг тузилиши оддий, ортикча механизми ва ҳаракатланувчи қисмлари йўқ. Бундан ташқари, эрлифтлар юқори температурада ҳам ишлайверади.

Эрлифтларнинг фик кичик ($\eta = 0,25 \div 0,35$), унумдорлиги кам, сиқилган ҳаво бериш учун ортикча компрессор қурилмалари талаб қилинади.

5.6- §. ГАЗ СИҚИШНИНГ ТЕРМОДИНАМИК АСОСЛАРИ

Газ сиқилиш жараёнида унинг ҳажми, босими ва температура-си ўзгаради. Бу учала катталиқнинг ўзаро боғланиши газнинг босими 1 мПа гача бўлган идеал газларнинг ҳолат тенгламаси билан ифодаланади. Юқори босимли газнинг ҳажми, босими ва температураси ўртасидаги боғланиш *Ван-дер-Ваальс тенгламаси* билан аниқланади:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad (5.26)$$

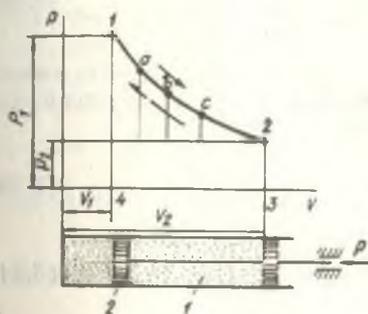
бу ерда: P — газ босими, Па, v — газнинг солиштирма ҳажми, $\text{м}^3/\text{кг}$; $R = 8310/\text{М}$ — газларнинг универсал константаси, ж (кг, К); M — газнинг моляр массаси, кг кмоль; T — температура, К.

a ва b коэффициентларнинг миқдори махсус қўлланмаларда берилмаса, у критик температура $T_{\text{кр}}$, критик босим $P_{\text{кр}}$ орқали қуйидагича топилади:

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

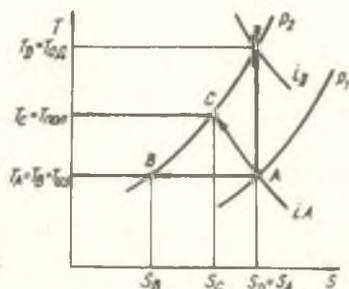
Газ ҳолатининг вақтнинг ҳар қайси пайтида ўзгариши PV диаграммада узлуксиз келадиган кетма-кет нукталар билан ифодаланади, бу нукталар босим ва ҳажмнинг вақтнинг тегишли моментларидаги ўртача қийматларини кўрсатади (5.17- расм). Бу нукталарни бирлаштирувчи эгри чизик газнинг жараён бошланишидаги ва охиридаги мувозанат ҳолатини аниқ ифодалайди. Эгри чизикнинг кўриниши жараённинг характериға боғлиқ. Бундай эгри чизик *термодинамик жараён эгри чизиғи* дейилади.

Газларни сиқиш натижасида унинг ҳажми, босими ўзгариши билан температураси кўтарилиб, иссиқлик ажралиб чиқади. Назарий жиҳатдан газ икки хил жараёнда сиқилади. Сиқиш вақтида ажралиб чиққан иссиқлик ташқи муҳитга тортиб олинса *изотермик*, агар фақат иситиш учун сарflanса *адиабатик жараён* дейилади.



5.17- расм. Газ ҳолатининг $P - V$ диаграммаси:

1 — цилиндр; 2 — поршень.



5.18- расм. Газларни сиқиш жараёнининг $T - S$ диаграммаси.

Изотермик жараёнда иссиқлик ажратиб олингани учун, газнинг ва жараённинг температураси ўзгармас бўлади. Адиабатик жараёнда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмайди. Ҳақиқатда эса сиқиш вақтида ажралган иссиқликнинг бир қисми ташқи муҳитга тарқалади ва қолган қисми газни иситишга сарflanади. Газ политропик жараёнда сиқилади.

Газларни компрессорларда сиқиш жараёнларида бажарилган солиштирма ишнинг миқдори $T - S$ диаграмма орқали аниқланади. $T - S$ диаграммада ўзгармас босим ва температураға тўғри келган қийматлар горизонтал чизиклар билан тасвирланган (5.18- расм). Диаграммада ордината ўқиға абсолют температура ва абсцисса ўқиға энтропиянинг қийматлари қўйилади.

Газни босимнинг P_1 дан P_2 гача ўзгаришидаги изотермик сиқиш жараёни $T - S$ диаграммада AB чизиғи билан ифодаланади. 1 кг газни изотермик сиқишдаги ташқи муҳитга тортиб олиниши зарур бўлган иссиқликнинг миқдори $q_{из}$ сон жиҳатидан изотермик сиқишдаги солиштирма ишнинг миқдори $L_{из}$ га (Ж/кг) ҳисобида тенг. $q_{из}$ нинг қиймати диаграмма ёрдамида аниқланади:

$$q_{из} = L_{из} = T_A = T_A(S_A - S_B). \quad (5.27)$$

Адиабатик сиқиш жараёнида газ билан аτροφ-мухит орасида иссиқлик алмашинмайди, яъни $dQ=0$, $dS=0$. Бу жараёнда газ температураси кўтарилиб, АД вертикал чизик билан ифодаланади. 1 кг газни P_1 дан P_2 гача адиабатик сиқиш пайтида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори солиштирма ишнинг қийматига тенг бўлиб, диаграмма ёрдамида қуйидагича топилади:

$$q_{ад} = L_{ад} = C_p(T_D - T_A) \quad (5.28)$$

Политропик жараёндаги газ P_1 босимдан P_2 гача сиқилганда $T-S$ диаграммада AC чизик билан ифодаланади. Бунда солиштирма ишнинг миқдори политропик жараёнида 1 кг газни сиқишда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг бўлади:

$$q_{пол} = L_{пол} = (S_A - S_c) \frac{T_A + T_c}{2} + C_p(T_c - T_A). \quad (5.29)$$

Агар босимнинг охириги қиймати P_2 маълум бўлса, сиқиш жараёнидаги солиштирма ишнинг миқдорини аналитик усул билан ҳам аниқлаш мумкин. Бундай шароитда:

$$\text{изотермик сиқиш учун } L_{из} = P_1 v_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (5.30)$$

$$\text{адиабатик сиқиш учун } L_{ад} = \frac{R}{\gamma - 1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right] \quad (5.31)$$

$$\text{политропик сиқиш учун } L_{пол} = \frac{m}{m - 1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m - 1}{m}} - 1 \right] \quad (5.32)$$

(5.30) — (5.32) тенгламаларда: P_1 ва P_2 — газнинг дастлабки ва охириги босими, Па; v_1 — бошланғич шароитлардаги (босим P_1 ва температура T_1 бўлганда) газнинг солиштирма ҳажми, м³/кг;

$R = \frac{C_p}{C_v}$ — адиабата кўрсаткичи; C_p ва C_v — ўзгармас босим ва ҳажмдаги газнинг иссиқлик сигими, ж/кг. К; m — политропик кўрсаткич.

Политропик кўрсаткичнинг қиймати газнинг хоссаларига ва аτροφ мухит билан иссиқлик алмашиниш шартларига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳавони совитиш учун сув ишлатиладиган компрессорлар учун тахминан $m=1,35$ деб олиш мумкин. Совитилмайдиган компрессорларда сиқиш жараёни адиабатик ёки политермик шароитда бориши мумкин, бундай ҳолат учун $m > k$.

Газларни изотермик сиқишда энг кам иш бажарилади, шу сабабдан ҳақиқий сиқиш жараёнини изотермик жараёнга яқин бўлган шароитда олиб борилади. Бунинг учун сиқиш жараёнида ажралиб чиққан иссиқлик газни совитиш орқали тортиб олинади. Сиқишдан кейинги газнинг температураси T_2 :

$$\text{изотермик жараён учун } T_2 = T_1 \quad (5.33)$$

$$\text{адибатиқ жараён учун } T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}}, \quad (5.34)$$

$$\text{политропик жараён учун } T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}. \quad (5.35)$$

Ҳавони компрессор билан сиқиш учун сарфланадиган назарий қувват (N_n , B_n) қуйидаги тенглама билан аниқланади

$$N_n = V \rho L, \quad (5.36)$$

бу ерда: V — компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги, м³/с; ρ — газнинг зичлиги, кг/м³; L — газни сиқиш учун сарфланган солиштирма ишнинг миқдори, Ж/кг; L нинг қийматини (5.30), (5.31) ёки (5.32) тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин.

Агар компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги ва газнинг зичлиги сўриш шароитига келтирилган бўлса (яъни $V = V_1$, $\rho = \rho_1 = \frac{1}{v_1}$) у ҳолда (5.30) — (5.32) тенгламаларга асосан қуйидагиларга эришамиз:

$$N_{н.из} = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}, \quad (5.37)$$

$$N_{н.ад} = \frac{R}{R-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}} - 1 \right], \quad (5.38)$$

$$N_{н.пол} = \frac{\kappa}{\kappa-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]. \quad (5.39)$$

Компрессорнинг валидаги қувват қуйидаги тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$N_c = \frac{N_{н.из}}{\eta_{из} \eta_{мех}}, \quad (5.40)$$

бу ерда: $\eta_{из}$ — изотермик фик; $\eta_{мех}$ — механик фик.

Компрессор двигателининг қуввати қуйидагича аниқланади:

$$N_{дв} = \frac{N_c}{\eta_{уз} \eta_{дв}} \quad (5.41)$$

бу ерда: $\eta_{уз}$ — узатиш фик; $\eta_{дв}$ — двигателнинг фик.

Двигателни ўрнатиш учун одатда 10 ÷ 15 % запас энергия олинади:

$$N_{ўрн} = (1,1 \div 1,15) N_{дв} \quad (5.42)$$

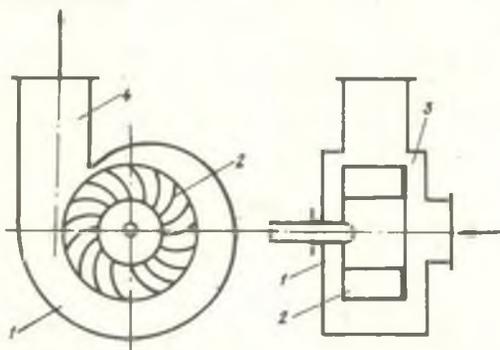
Изотермик фик сиқиш даражасига кўра 0,64 ÷ 0,78, механик фик эса 0,85 ÷ 0,95 оралигида ўзгаради.

5.7-§. ВЕНТИЛЯТОРЛАР

Ҳаво ва саноат газлари оқимини сиқиш даражаси кичик бўлганда (тахминан 1,1 гача) узатиш учун марказдан қочма ва ўкли вентилятор ишлатилади.

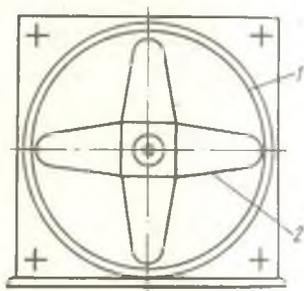
Вентилятор газни нисбатан юқори босимда узатиб бериш учун, ўкли вентилятор эса кичик босимда, лекин кўп миқдордаги газни узатиш учун мулжалланган. Саноатда ўкли вентилятор жуда кам ишлатилади, ундан фақат биноларни совитишда фойдаланилади.

Саноатда газларни узатиш учун асосан марказдан қочма вентилятордан фойдаланилади. Бу вентилятор босимнинг катта-лигига қараб уч гуруҳга бўлинади: 1) паст босимли — 981 Па гача; 2) ўрта босимли — 981—2940 Па; 3) юқори босимли — 2940—11700 Па.



5.19-расм. Марказдан қочма вентилятор:

1 — қобик, 2 — иш гилдираги; 3 — сўрувчи патрубк; 4 — узатувчи патрубк.



5.20-расм. Ўкли вентилятор:

1 — қобик, 2 — куракчали гилдирак.

Марказдан қочма вентиляторнинг асосий қисми паррақлар ва спиралсимон қобик ичига жойлаштирилган иш паррақлари бор гилдиракдир (5.19-расм). Марказдан қочма вентилятор марказдан қочма насосга ўхшаб ишлайди. Иш гилдираги айланганда вентиляторнинг иш бўшлигидаги ҳаво ёки газ гилдирак билан бирга айланади ва марказдан қочма куч таъсирида гилдиракнинг чеккаларига ҳайдалади. Газ гилдирак паррақларидан спиралсимон камерага ва ундан ҳайдаш трубасига ўтади. Газ гилдирак паррақларидан ўтганда гилдиракнинг марказий қисмида сийрақлашган босим вужудга келади ва газнинг янги қисми атмосфера босими таъсирида вентилятор қобигидаги сўриш тешиги орқали ўтиб, паррақли гилдиракнинг марказий қисмига қиради. Сўнгра газ гилдирак паррақларига урилади ва жараён шу тарзда давом этаверади.

Паст босимда ишлайдиган вентиляторда иш гилдирагидаги паррақлар орқа томонга юқори босимда ишлайдиганларида эса олд томонга эгилган бўлади. Иш гилдирагидаги паррақ сонини ўзгартириб паст босимли вентилятордан ўрта босимли вентилятор хосил қилиш мумкин.

Ўқли вентилятор иш гилдирагининг иккитадан то ўн олтигача куракчалари бўлади (5.20- расм). Куракчаларнинг шакли тайёра (самолёт)нинг пропеллерига ўхшайди. Ўқли вентилятор реверсив қобилиятга (икки томонга қараб айланиши мумкин), ихчам ва нисбатан юқори фойдали иш коэффициентига (0,7—0,9) эга.

Ҳавони узатиш пайтида вентиляторда ҳосил бўлган босим (ΔP , Па) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\Delta P = (P_2 - P_1) + \Delta P_c + \Delta P_x + \frac{\omega^2 \rho_x}{2}, \quad (5.43)$$

бу ерда: P_1 — вентилятор ҳаво олаётган жойдаги босим, Па; P_2 — вентилятор ҳаво узатаётган жойдаги босим, Па; ΔP_c — сўриш линиясидаги босимнинг йўқолиши, Па; ΔP_x — ҳайдаш линиясидаги босимнинг йўқолиши, Па; ω — вентилятор тармогидаги чиқаётган ҳавонинг тезлиги, м/с; ρ_x — ҳавонинг зичлиги кг/м³

Агар вентилятор билан зичлиги ҳавонинг зичлигидан фарк қиладиган газ узатилса, у ҳолда (5.43) тенгламанинг ўнг томонига яна ΔP_k қўшилади:

$$\Delta P_k = (\rho_r - \rho_x)zg, \quad (5.44)$$

бу ерда ΔP_k — биринчи кесим юзасидан иккинчи кесим юзасига газни кўтариш учун сарфланган босим, Па; ρ_r — газнинг зичлиги, кг/м³; z — сўриш ва ҳайдаш баландликларининг нуқталари ўртасидаги айирма, м.

Марказдан қочма вентиляторнинг хоссаси худди марказдан қочма насосникига ўхшаш бўлади, шунингдек, булар насослар каби пропорционаллик қонунига бўйсунди. Вентилятор қурилмаси томонидан сарфланадиган қувват (N , кВт) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$N = \frac{Q\Delta P}{10^3 \eta} \quad (5.45)$$

бу ерда: Q — вентиляторнинг иш унумдорлиги, м³/с; η — вентилятор қурилмасининг умумий фойдали иш коэффициенти (0,6 ÷ 0,9); ΔP — вентиляторда ҳосил бўлган босим, Па.

5.8- §. МАРКАЗДАН ҚОЧМА КОМПРЕССОР ВА ГАЗОДУВКАЛАР

Газни нормал босимдан юқори босимгача сиқиш учун мўлжалланган машина *компрессор* деб юритилади. Газ сиқилганда унга кинетик ва потенциал энергия берилади. Энергиядан фойдаланиш турига асосан компрессор иккита катта гуруҳга бўлинади: 1) марказдан қочма, ўқли ва оқимчали компрессорлар; 2) поршенли ва ротацион компрессорлар. Компрессор қаторига вентилятор, газодувка вакуум-насослар ҳам қиради.

Ҳосил бўладиган босимнинг қийматида кўра компрессор машиналар қуйидаги турларга бўлинади: 1) паст босимли

(0,01 мПа гача) вентиляторлар; 2) ўрта босимли (0,01 дан 0,3 мПа гача) — газодувкалар 3) юқори босимли (0,3 мПа ва ундан катта) — компрессорлар; 4) вакуум-насослар (сийракланиш 0,05 мПа). Газодувка, вентилятор ва вакуум-насоснинг компрессор билан ўхшашлиги — умумий ишлаш принципига эга бўлишлигидир, бироқ уларнинг тузилишида анча фарқ бор.

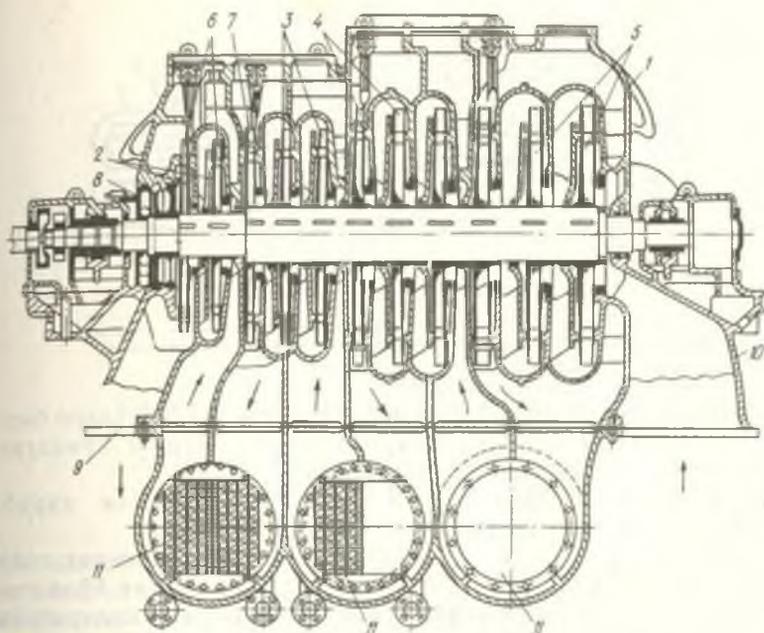
Марказдан қочма принципа ишлайдиган компрессор ва газодувка *турбокомпрессор* ва *турбогазодувка* деб аталади.

Турбокомпрессорнинг тузилиши турбинанинг тузилишига ўхшаш. Газни сиқиш жараёни компрессор гилдиракларининг парраклараро каналларида ва сўнгра, қўзгалмас каналларида (диффузорларда) содир бўлади. Иш гилдирагининг парракларида газнинг олган кинетик энергияси қўзгалмас каналларда тормозланиши натижасида сиқилган газнинг потенциал энергиясига айланади.

Ўқли турбинадаги каби ўқли турбокомпрессорда ҳам газнинг ҳаракат йўналиши ўқнинг айланishi билан мос тушади. Марказдан қочма компрессорда газ иш гилдирагида машина ўқиға перпендикуляр равишда марказдан четға қараб ҳаракатланади ва бу ерда марказдан қочма қуч таъсирига учрайди. Натижада марказдан қочма компрессор ҳосил қилган босимнинг кўтарилиш даражаси ўқли компрессордагига қараганда юқори бўлади.

Турбокомпрессор гилдираги айланishiлар тезлигининг ортиши билан унинг сиқиш даражаси ҳам ортади. Лекин иш гилдираги айланishiлар тезлигининг миқдори гилдирак материалининг мустаҳкамлиги туфайли чекланган бўлади ва шунга мувофиқ равишда бир боскичда сиқиш босимининг кўтарилиши ҳам чекланган. Шу сабабли газнинг юқори босимини ҳосил қилиш учун айланishiлар частотаси йўл қўйилган қийматидан ортмайди, бунда кўп боскичли сиқиш усулидан фойдаланилади.

Кўп боскичли компрессорларда боскичлар сони ва шунга мувофиқ равишда иш гилдираклари сони газнинг берилган босими билан белгиланади. Сиқилган газнинг босими қанчалик юқори бўлса, боскичлар сони ва компрессорлар валиға тўғри келадиган иш гилдираклари сони ҳам тегишлича бўлади. Турбокомпрессорларда газлар юқори босимгача сиқилганда унинг температураси кўтарилиб, кўп миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Иссиқликнинг йўқолиши ва ташқи муҳит билан иссиқликнинг алмашиниши юз бермаса, бундай шароитда компрессор каналларида адиабатик жараён давом этади. Газнинг ҳамда турбокомпрессор қобиғи ва иш гилдиракларининг ўта қизиб кетишининг олдини олиш мақсадида қобик деворлари сув билан совитилади ва боскичлар орасиға совиткичлар ўрнатилади (5.21- расм). Оралик совиткичларда сиқилган газ турбокомпрессорнинг боскичидан иккинчи боскичига ўтишида қўшимча совийди. Кўп боскичли насосларда гилдиракларнинг катталиги бир хил бўлса, турбокомпрессорларда сиқилган газ босимининг кўтарилиши билан гилдиракларнинг



5.21- расм. Кўп босқичли турбокомпрессор:

1 — қобик; 2, 3, 4, 5 — тўртинчидан то биринчи пононагача бўлган иш ғилдираклари гуруҳи;
6 — қўзғалмас йўналтирувчи мосламалар; 7 — ҳаракатчан йўналтирувчи мосламалар; 8 — поршень;
9, 10 — узвтиш ва сўриш патрубкълари; 11 — кўп пононали советкичлар.

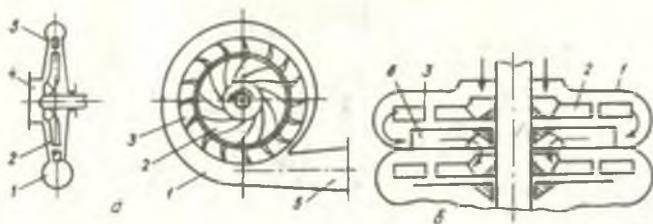
катталиги кичиклашиб боради. Кўп босқичли турбокомпрессорлар ёрдамида 1,5 ÷ 1,6 мПа гача босим ҳосил қилинади.

Охирги босқичнинг йўналтирувчи мосламасидан чиқаётган газнинг тезлиги кўпинча 50 м/с гача етади. Замонавий турбомашиналар иш ғилдираги қирраларидаги газнинг тезлиги 400 м/с дан ортади.

Эйлернинг асосий тенгламаси турбокомпрессорлар учун ҳам тааллуқлидир, ammo пропорционаллик қонунини булар учун қўллаб бўлмайди, чунки газ сиқилиши натижасида унинг босими ва зичлиги ўзгаради.

Турбокомпрессорларда газлар бир меъёردа узатилади, ammo фойдали иш коэффициентини поршенли компрессорларга нисбатан камроқ. Босими камроқ бўлган кўп миқдордаги мойли, ёғ аралашган газларни узатиш учун турбогаз одувкалар ишлатилади. Валдаги иш ғилдиракларининг сонига қараб турбогазодувка бир ва кўп босқичли бўлади (5.22- расм, а ва б.). Турбогазодувканинг қобиғидаги парракли иш ғилдираклари худди марказдан қочма насосларникига ўхшаб айланма ҳаракат қилади.

Иш ғилдираги йўналтирувчи мосламанинг ичида жойлашиб, бунда газнинг кинетик энергияси потенциал энергияга айланади.



5.22- расм. Турбогазодувкалар:

а — бир босқичли; б — кўп босқичли. 1 — қобик; 2 — иш гилдираги, 3 — йўналтирувчи мослама; 4, 5 — сўрувчи ва узатувчи патрубклар; 6 — қайтма канал.

Йўналтирувчи мослама иккита дискдан иборат бўлиб, ўзаро бири-бири билан гилдирак паррақларига қарама-қарши йўналган паррақлар ёрдамида бириктирилган.

Газ турбогазодувкага сўриш патрубкаси орқали кириб, сиқилган газ ҳайдаш патрубкаси орқали узатилади.

Кўп босқичли турбогазодувкада иш гилдиракларининг сони 3—4 та бўлади. Буларда газ биринчи иш гилдирагидан йўналтирувчи мослама ва қайтма канал орқали кейинги иш гилдирагига ўтади. Қайтма каналда бир қанча қўзғалмас йўналтирувчи кирралар бўлиб, улар ёрдамида ўтаётган газ берилган тезликда ва йўналишда ҳаракат қилади. Турбогазодувкаларда газ $0,3 \div 0,35$ мПА босимгача сиқилади, шунинг учун газ совитилмайди.

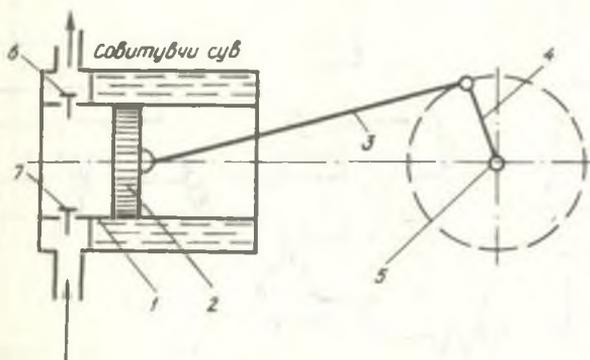
Турбогазодувкада газнинг босими билан ҳажм орасидаги боғланишни индикатор диаграмма орқали тасвирлаб бўлмайди.

5.9-§. ПОРШЕНЛИ КОМПРЕССОРЛАР

Поршенли компрессорлар сиқиш даражасига қараб бир ва кўп босқичли, шунингдек, ишлаш принципига кўра бир ва икки томонлама ҳаракат қилувчи бўлади.

Бир босқичли поршенли компрессорнинг тузилиши худди поршенли насоснинг тузилишига ўхшаш (5.23- расм). Поршень цилиндр ўнгга ва чапга кривошип механизми ёрдамида қайтарилгарилама ҳаракат қилади. Поршень цилиндрнинг ички деворига зич қилиб ўрнатилади ва цилиндр бўшлигини икки қисмга бўлиб туради. Поршень чапдан ўнгга томон илгарилама ҳаракат қилганда сўриш клапани очилиб цилиндр газга тўлади. Орқага қайтганда цилиндрдаги газнинг сиқилиши натижасида босим орта бориб, узатилиш линиясидаги босимга тенг бўлганда, узатувчи клапан очилиб газ узатила бошланади. Газ сиқилганда унинг температураси кўтарилади, қизиган газ ёглаб турувчи мойни қуйдириб юбормаслиги учун цилиндрнинг девори сув билан узлуксиз совитиб турилади.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлиги кам бўлганлиги учун икки томонлама ҳаракатланувчи поршенли компрессорлар

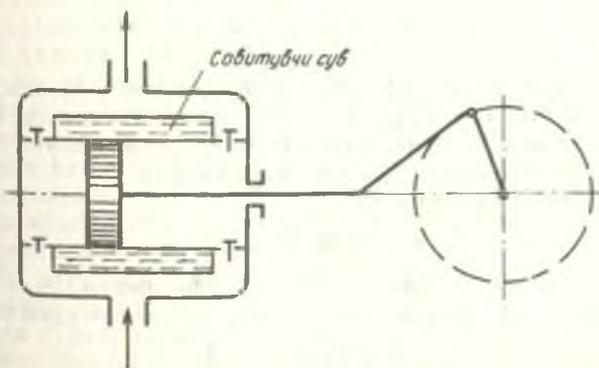


5.23- расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндр-
ли компрессор:

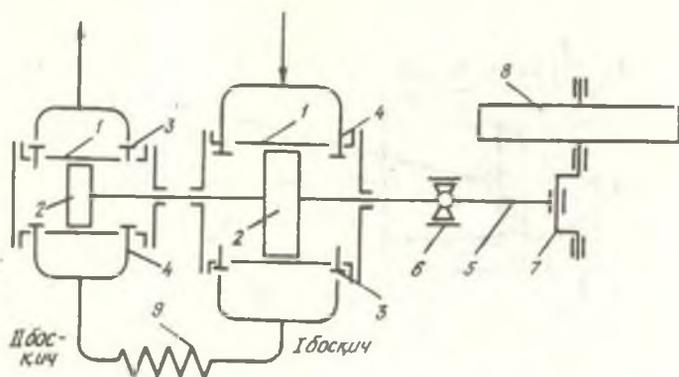
1 — цилиндр, 2 — поршень, 3 — шатун, 4 — кривошип, 5 — вал, 6 —
хайдаш клапани, 7 — сўриш клапани.

қўп ишлатилади. Бу компрессорларда цилиндрдаги газ поршен-
нинг иккала қисмида (чап ва ўнг) сиқилади: уларда иккита сўриш
ва иккита узатиш клапани бор (5.24- расм). Поршень кривошип-
шатунли механизм ёрдамида илгарилама ҳаракат қилади. Вал бир
марта айланганда цилиндрга газ икки марта сўрилади ва икки
марта узатилади. Компрессорнинг унумдорлиги бир томонлама
ишлайдиган компрессорникига қараганда деярли икки марта қўп.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлигини ошириш ҳамда
газнинг сиқилиш даражаси $0,4 \div 0,6$ мПа бўлиши учун қўп
цилиндрли бир ва икки томонлама сиқадиган компрессорлар
ишлатилади. Бу компрессорда газ биринчи цилиндрдан кейинги
цилиндрга ўтган сари босим кўтарила бошлайди. Компрессорнинг
паршени умумий бир иш валига ўрнатилган. Газ сиқилиши
натijasида унинг температураси бир цилиндрдан иккинчи



5.24- расм. Икки томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндр-
ли компрессор.



5.25- расм. Икки цилиндрли бир томонлама ҳаракатланувчи компрессор:

1 — цилиндр; 2 — поршень; 3, 4 — сўрувчи ва узатувчи клапанлар; 5 — шатун; 6 — крейцкоф; 7 — кривошип; 8 — маховик; 9 — соятқич.

цилиндрга ўтганида ортиб боради. Шу сабабли иккита цилиндр орасига совитқичлар ўрнатилади. 5,25- расмда икки цилиндрли газни бир томонлама сиқадиган компрессорнинг ишлаш принципи кўрсатилган. Бу компрессорда поршенлар параллел ишлайди ва цилиндр кетма-кет ёки параллел битта ўққа ўрнатилади.

Одатда поршенли компрессорда сиқиш босқичларининг сони 7 дан ортмайди. Ҳақиқий компрессорларда бирор ҳолатни эгаллаган поршень билан цилиндр коңкоғи орасида доимо муайян ҳажм қолади ва у қолдиқ ҳажм дейилади. Қолдиқ ҳажм цилиндр ҳажмининг 3—5 % ини ташкил қилади ва у ортиши билан компрессорнинг унуми пасаяди. Газ узатилгандан кейин у яна сўрилиши учун ва қолдиқ ҳажмда қолган сиқилган газнинг босими сўриш вақтидаги сиқилмаган газнинг босимига тенг бўлиши учун у кенгайиши керак. Бир томонлама ҳаракат қилувчи, яъни оддий бир босқичли поршенли компрессорнинг иш унумдорлиги (Q , $\text{м}^3/\text{с}$) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$Q = \lambda \frac{FSn}{60}, \quad (5.46)$$

бу ерда λ — узатиш коэффиценти; F — поршен юзаси, м^2 ; S — поршень йўлининг узунлиги, м ; n — айланиш частотаси, $\text{айл}/\text{мин}$.

Қўп босқичли компрессорнинг иш унумдорлиги биринчи босқичнинг унумдорлиги орқали аниқланади.

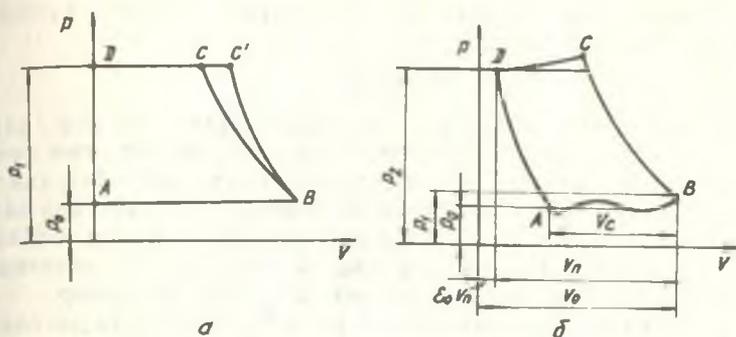
Узатиш коэффиценти:

$$\lambda = (0,8 \div 0,95) \lambda_0, \quad (5.47)$$

бу ерда λ_0 — ҳажмий фойдали иш коэффиценти.

Компрессорнинг ҳажмий фик қуйидаги тенгламадан топилади:

$$\lambda_0 = 1 - \epsilon_0 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right], \quad (5.48)$$



5.26- расм. Бир босқичли поршенли компрессорнинг индикатор диаграммаси:

a — идеал компрессор; *б* — ҳақиқий компрессор.

бу ерда $\epsilon_0 = 0,03 \div 0,08$ — цилиндрдаги қолдик ҳажми поршеннинг ҳаракати пайтида ҳосил бўлган ҳажмга нисбати; $m = 1,2 \div 1,35$ қолдик ҳажмдаги сиқилган газнинг кенгайиш политропи кўрсаткичи.

Поршенли компрессорнинг ишлашини текшириб туриш учун индикатор диаграммаси тузилади (5.26- расм). Бу диаграмма поршеннинг бир мартаба илгарилама-қайтма ҳаракати натижасида сўрилган ва ҳайдалган газнинг босими ва ҳажми ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

Аввало идеал компрессорнинг индикатор диаграммасини кўриб чиқамиз. Бунда поршеннинг чапдан ўнгга қараб ҳаракати бошланиши биланок сўриш бошланади (5.26- расм, *a*). *AB* горизонтал чизиги газни сўриш жараёнини, *BC* чизиги цилиндрдаги газни босимнинг қиймати P_0 дан P_1 гача сиқиш жараёнини (*BC* — изотермик сиқиш, *BC'* — адиабатик сиқиш), *CD* — горизонтал чизиги газни ҳайдаш жараёнини кўрсатади.

Ҳақиқий компрессорнинг индикатор диаграммаси 5.26- расм, *б* да берилган. *D* нукта поршеннинг чап томонга силжигандаги энг чекка ҳолатини белгилайди. Ҳақиқий компрессорларда бу нукта ҳеч вақт цилиндрнинг қопқоғига зич тегиб турмайди. Цилиндр қопқоғи ва поршеннинг чап томонидаги энг чекка ҳолатини эгаллаган пайда ҳосил бўлган бўшлиқ қолдик ҳажм деб аталади. Бу қолдик ҳажм $\epsilon_0 V_n$ га тенг, бу ерда V_n цилиндрнинг иш ҳажми.

Поршен чап ҳолатдан ўнгга қараб ҳаракатланганда қолдик ҳажмдаги газнинг кенгайиши бошланади. Бу жараён (*DA* чизиги) ҳажмнинг кўпайиши ва босимнинг камайиши билан характерланади ва цилиндрдаги босимнинг қиймати P_0 сўриш трубасидаги босим P_1 дан биров камроқ бўлганда тўхтайди. Поршеннинг *A* нуктасига тўғри келган ҳолатида $P_1 - P_2$ босимлар фарқи таъсирида сўриш клапани очилади ва газ компрессорга қиради. Сўриш жараёни (*AB* чизиги) поршеннинг ўнг томондаги энг чекка *B* нуктасини эгаллагунча давом этади. Сўрилаётган газнинг ҳажми

V_c AB чизигининг узунлигига пропорционал бўлиб, куйидаги ифода ёрдамида топилади:

$$V_c = \lambda_0 V_n.$$

Поршень энг чекка ўнг ҳолатдан чап томонга қараб ҳаракатланганда сўриш клапани ёпилади ва политропик сиқиш бошланади (BC чизиги). Бу политропик сиқиш жараёни ҳайдаш трубасидаги босимнинг қиймати P_2 дан бир оз кўпайгунча давом этади. Бу ҳолатда (C нуктасида) ҳайдаш клапани очилади. Ҳайдаш жараёни CD чизиги бўйича боради. CD чизигининг узунлиги ҳайдалган газнинг ҳажмига пропорционалдир.

Берилган миқдордаги газни (G , кг) 1 соат давомида дастлабки босим P_1 дан охириги босим P_2 гача адиабатик сиқиш учун бир боскичли компрессор двигателининг истеъмол қуввати (N_{gb} , кВт) куйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{gb} = \frac{G L_{ог}}{3600 \cdot 1000 \eta} = \frac{G (i_2 - i_1)}{3600 \cdot 1000 \eta}, \quad (5.49)$$

бу ерда i_1 ва i_2 газнинг бошланғич ва охириги энтальпияси (ёки иссиқлик ушлашлиги), Ж/кг; η — компрессор қурилмасининг умумий ф.к. Поршенли компрессор юкори фойдали иш коэффициентига эга бўлиб, унинг ёрдамида газларни кенг интервалда 100 мПа босимгача сиқиш мумкин. Газнинг бир меъёрда узатилмаслиги, унумдорлигининг пастлиги ва клапанларининг кўплиги поршенли компрессорнинг камчилигидир.

5.10-§. РОТОРЛИ КОМПРЕССОРЛАР

Бу компрессорлар ҳам поршенли компрессорлар сингари, иш бўшлиги ҳажмининг камайиши принципида ишлайди. Роторли компрессорлар конструктив белгиларига кўра пластиналар, юмалайдиган роторли, сув ҳалқали, газодувка ва икки роторли компрессорларга бўлинади.

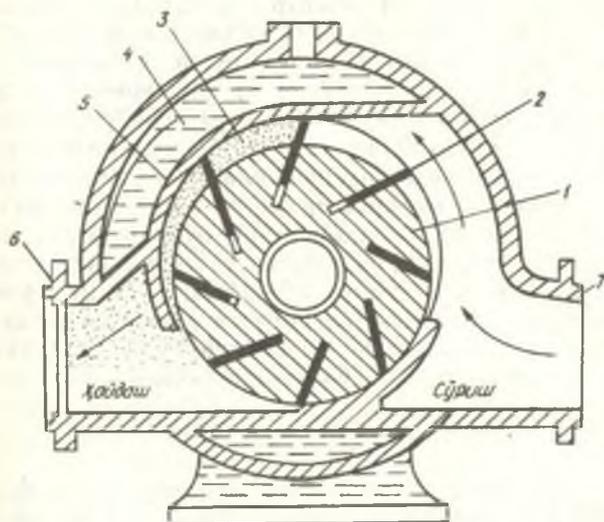
Пластиналар компрессор пластиналар насослар каби ишлайди, улар *бир босқичли* ва *икки босқичли бўлади*.

Пластиналар роторли компрессорнинг сўриш вақтидаги унумдорлиги куйидагича аниқланади:

$$V = 2len\lambda(\pi D - \delta z), \quad (5.50)$$

бу ерда l — пластинанинг узунлиги, м; e — роторнинг эксцентритети, м; n — роторнинг айланишлар частотаси, 1/с ёки s^{-1} ; D — кобикнинг ички диаметри, м; b — пластина қалинлиги, м; z — пластиналар сони, $z = 30 - 40$ тагача бўлади; λ — узатиш коэффициенти.

Бир босқичли роторли пластиналар компрессорда газ $0,25 \div 0,5$ мПа босимгача, икки босқичлида эса $0,8 \div 1,5$ мПа босимгача сиқилади. Бундай компрессорлардан паст босим ва катта унумдорлик олиш мақсадида фойдаланилади.



5.27- расм. Пластинали роторли компрессор:

1 — ротор; 2 — сирпанадиган пластиналар; 3 — ротор билан қобик орасидаги бўшлик; 4 — совитувчи сув бўшлиғи; 5 — қобик; 6 — ҳайдаш патрубкиси; 7 — сўриш патрубкиси.

5.27- расмда пластинали роторли компрессорнинг чизмаси кўрсатилган. Қобикда эксцентрик равишда ротор жойлашган, унинг ўйилган жойларида радиал йўналишда осон сирпанадиган пластиналар бўлиб, улар ротор билан қобик орасидаги ўроксимон бўшликни бир неча қисмга бўлиб туради. Сўриш патрубкиси шундай жойлашганки, бу ерда пластиналар марказдан қочма куч таъсирида роторнинг ўйилган жойларидан чиқади ва газ кириши учун икки пластина орасидаги ҳажм бўшайди. Ротор парракнинг юқориғи ҳолатигача бурилган сари ҳажм аста-секин орта боради. Ротор яна бурилганда пластиналар ўйилган жойларга кира бошлайди ва пластиналар орасидаги ҳажм кичраяди. Ҳажмни тулдирувчи газнинг босими ҳам тегишлича кўпаяди. Ротор бурилиши давомида бўш ҳажм ҳайдаш патрубкиси бўшлиғи билан бирлашади ва бу ердан сиқилган газ труба орқали газ йиғгичга ҳамда истеъмолчига ўтади.

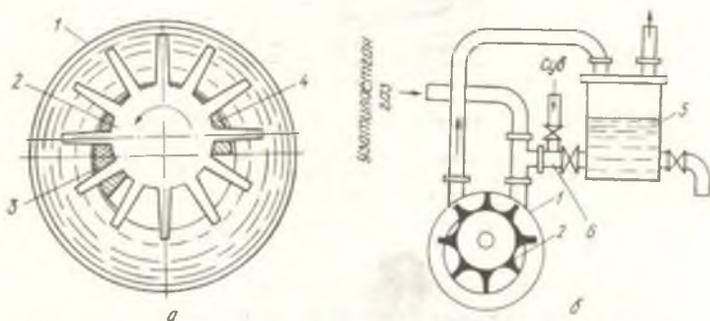
Ротор яна бурилганида жараён такрорланади. Компрессор ишлаган вақтда қобигининг деворлари кизиб кетмаслиғи учун сув билан совитиб турилади.

Роторли компрессорнинг поршенли компрессорга нисбатан қуйидаги афзалликлари бор: 1) ўлчамлари ва оғирлиғи кичик, поршенли компрессорга нисбатан кам жой эгаллайди; 2) кривошип-шатунли механизми бўлмагани учун анча раван ишлайди; 3) айланишлар частотаси катта, компрессорни ҳаракатга келти-

риш учун уни бевосита электр двигателига улаш мумкин; 4) тузилиши оддий, деталлари сони кам ва арзон.

Лекин роторли компрессорнинг поршенли компрессорга нисбатан муҳим камчилиги ҳам бор: 1) фик кичик; 2) деталлари ниҳоятда аниқ ишланиши туфайли уларни тайёрлаш технологияси анча мураккаб; 3) сиқилган газнинг босими катта эмас; 4) бир созлашдан кейинги созлашгача ишлаш муддати киска.

Сув ҳалқачали компрессорлар. Компрессорнинг қобиғида эксцентрик ҳолда ясси куракчалари бўлган ротор жойлашган (5.28-расм). Компрессорни ишга туширишдан олдин унинг ярмигача сув қуйилади. Ротор айланганда сув атрофга сочилиб, компрессорнинг қобиғи билан роторга нисбатан эксцентрик сув ҳалқачалари ҳосил қилади. Ҳажмидаги куракчаларнинг пастки қисми сув ҳалқачаларидаги суюқликка ботирилгунча компрессорга сув қуйилади.

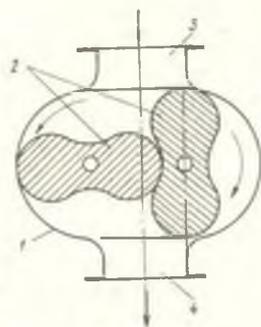


5.28-расм. Сув ҳалқачали компрессор:

а — компрессорнинг тузилиши; б — газларни узатиш қурилмаси;
1 — қобик; 2 — ротор; 3 — узатувчи тешик; 4 — сўриш тешиги; 5 — идиш; 6 — компрессорни сув билан тўлдирувчи қуйилиш труба.

Ротор куракчалари билан сув ҳалқачалари орасида ячейкалар ҳосил бўлади. Ячейкаларнинг ҳажми роторнинг биринчи ярим айланишида кенгайди, иккинчи ярим айланишида эса тораяди. Ячейкаларнинг ҳажми кенгайганида газ сўрилади ва роторнинг кейинги айланишида ячейканинг ҳажми торайиши натижасида газ сиқилиб узатиш патрубкиси орқали узатилади. Бу компрессорда сув ҳалқачалари поршень вазифасини бажаради, чунки ҳалқачалар воситасида иш камерасининг ҳажми ўзгаради. Шунинг учун бундай компрессорларни суюқлик поршенли компрессорлар ҳам дейилади. Суюқлик поршенли компрессорлар асосан газ ҳолатдаги хлорни узатиш учун ишлатилади. Бунда эллипе шаклдаги қобикнинг ярмисигача иш суюқлик сифатида концентранган сульфат кислота қуйилади. Роторли сув ҳалқачали компрессорлар жуда кам ортикча босим ҳосил қилгани (0,25 мПа гача) сабабли улар газодувкалар ва вакуум насослар сифатида ишлатилади.

Газодувкалар. Роторли газодувканинг қобигидаги иккита параллелвалда барабанлар ёки поршенлар жуфти айланма ҳаракат қилади. Барабанларнинг биттаси электр двигателъ ёрдамида айланма ҳаракат, иккинчиси эса унга тишлари билан илашиб ҳаракат қилади (5.29-расм). Барабанлар бир-бирига қарама-қарши йўналишда айланма ҳаракатда бўлади. Барабанлар айланганида бир-бирига ва қобик деворига зич жойлашиб, иккита бир-биридан ажратилган камера ҳосил қилади. Пастки камерада вакуум ҳосил бўлиб, унга газ сўрилади, юқориги камерада газ сиқиб чиқарилади.



5.29- расм. Ротацион газодувка:

1 — қобик; 2 — ротор; 3 ва 4 — сўриш ва узатиш патрубкълари.

Роторли газодувкалар минутига $2 \div \div 800 \text{ м}^3$ гача ҳаво узатади. Узатиш коэффициенти 0,8; умумий фойдали иш коэффициенти $0,6 \div \div 0,7$. Газодувкаларнинг тузилиши содда, ихчам, клапанлари бўлмагани учун уларда газ бир меъёрда узатилади. Лекин юқори босим ҳосил қилмагани сабабли кам ишлатилади.

5.11-§. ВАКУУМ-НАСОСЛАР

Кимёвий технологиянинг айрим жараёнлари (масалан, бугла-тиш, хайдаш, қуритиш сийракланиш (яъни вакуум) муҳитида ҳам олиб борилади. Вакуум қўлланилганда суюқликнинг қайнаши-ни наст температурада олиб бориш имконияти вужудга келади. Вакуум ҳосил қилувчи машиналар *вакуум-насослар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи ва тузилиши компрессорнинг ишлаши ва тузилишига ўхшайди.

Вакуум-насослар тузилиши жиҳатидан компрессорлардан сиқилиш даражасининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, вакуум-насос газни (ёки ҳавони) $P_1=0,05$ ат бўлганда (яъни сийракланиш 95 %) сўриб олиб, уни сиқиб, насосдан чиқаётганда $P_2=1,1$ ат га етказса (0,1 ат микдордаги ортикча босим трубопроводдаги ва хайдаш клапанларидаги қаршиликларни енгиш учун сарфланади), у ҳолда сиқилиш даражаси:

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

Маълумки, бир босқичли поршенли компрессорларда сиқилиш даражаси 8 дан ортмайди. Сиқилиш даражаси жуда юқори бўлиши сабабли, вакуум-насоснинг ҳажвий коэффициентини ва унумдорлигини бирдан камаяди. Насоснинг иш ҳажмидан тўлиқ фойдаланиш учун қолдиқ ҳажми камайтиришга ҳаракат қилинади. Шунинг учун вакуум-насоснинг бир неча турларида (поршенли, роторли) босимларни тенглаштириш усулидан фойдаланиб, узатиш коэффициентининг қиймати $0,8 \div 0,9$ гача кўпайтирилади.

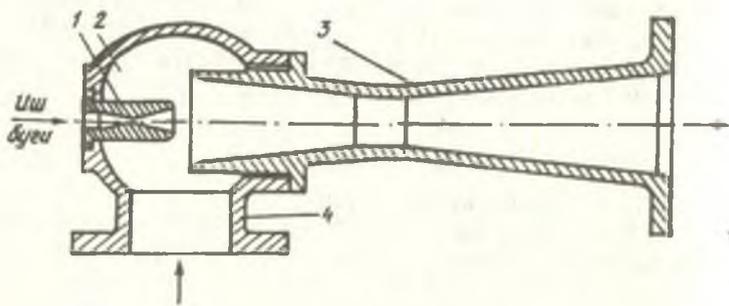
Поршенли вакуум-насослар. Булар *қуруқ* ва *суюқлик* насосларига бўлинади. Қуруқ вакуум-насослар газларни сўриб ташқарига чиқариб ташлаш учун, суюқлик вакуум-насослар эса бир вақтнинг ўзида газ ва суюқликларни сўриб чиқариб ташлаш учун ишлатилади.

Қуруқ вакуум-насоснинг тузилиши поршенли компрессорларга ўхшаш. Ҳажмий коэффициентини ошириш учун бу вакуум насоснинг баъзиларига золотник, яъни таксимловчи механизм ўрнатилади. Золотник ёрдамида сиқиш жараёнининг охиридаги қолдиқ ҳажм сўриш камераси билан бирлаштирилади. Бунда қолдиқ ҳажмда босими P_2 бўлган газ сўриш камерасида босими P_1 бўлганда газ билан аралашиб, газнинг босими тенглашади. Натижада газни сўриш жараёни вакуум насосларда аввалги ҳолатдагидек, поршеннинг ҳаракати билан цилиндрга сўрилади ва унумдорлик ортади.

Суюқлик вакуум-насосларида ортиқча миқдордаги суюқликни чиқариб ташлаш мақсадида (клапандан чиқаётган суюқликнинг тезлиги газнинг ҳаракат тезлигидан кам бўлишлиги учун) сўриш ва ҳайдаш клапанларда каттароқ бўлади. Шунинг учун суюқлик вакуум-насосларида қолдиқ ҳажм эгаллаган қисми катта бўлиб, улар қуруқ вакуум-насосларга нисбатан кам сийракланиш беради. Суюқлик вакуум-насосларда золотниклар бўлмайди.

Ротор пластинали ва сув ҳалқачали вакуум-насослар. Бу насослар конструктив жиҳатдан худди 5.27- ва 5.28- расмлардаги компрессорларга ўхшаш. Роторли вакуум-насосларда қолдиқ ҳажм махсус канал ёрдамида паст босимли камера билан бирлаштирилиб, газнинг босими тенглаштирилади. Бунда вакуум-насоснинг ҳажмий коэффициенти ва унумдорлиги ортади.

Сув ҳалқачали вакуум-насосларда ҳосил бўлган сийракланиш миқдори насосга қуйиладиган иш суюқлигининг парциал босимига ва температурасига боғлиқ. Суюқлик температураси ортиши билан сийракланиш миқдори камаяди. Шу сабабли сув ҳалқачали вакуум-насосларга паст температурали суюқлик қуйилади.



5.30- расм. Ингичка оқимли буг вакуум-насоси:

1 — буг соплоси; 2 — аралашини камераси; 3 — диффузор; 4 — сўриш патрубкиси.

Ингичка оқимли вакуум-насослар. Уларнинг ишлаш принципи худди суюклик узатувчи ингичка оқимли насосларникига ўхшайди. Ингичка оқимли вакуум-насосларда иш суюклиги сифатида буг ишлатилади (5.30-расм). Бундай насослар кислота бугларини сўриб олиш учун ишлатилади.

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

5.12-§. НАСОС ВА КОМПРЕССОРЛАРНИНГ ИШЛАТИЛИШ СОҲАЛАРИ

Саноатнинг барча ишлаб чиқариш соҳаларида суюкликларни узатиш учун асосан парракли ва ҳажмий насослар ишлатилади. Парракли насослар қаторига марказдан қочма, уюрмали, ўкли ва бошқа насослар киради. Парракли насослар ичида марказдан қочма насослар кўп ишлатилади, уларнинг умумий техник кўрсаткичлари ГОСТ 15110—79Е да берилган.

Марказдан қочма насослар бошқа насосларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: а) массаси енгил, ихчам, тайёрлаш учун кам металл сарфланади; б) унумдорлиги юкори, ҳаво қалпоқчаларисиз суюкликларни бир меъёрада узатади; в) бошқариш ва тузатиш осон ҳамда тўғридан-тўғри ёрдамчи механизмларсиз электр двигателга уланади; г) сўриш ва ҳайдаш клапанлари бўлмагани учун ифлосроқ суюкликларни ҳам узатиши мумкин; д) узоқ муддат давомида ишончли ишлайди.

Саноатда марказдан қочма консолли насослар энг кўп қўлланилади. Бундай насослар ичимлик ва саноат сувларини, актив ва нейтрал кимёвий суюкликларни, оқова сувларни узатиш учун ишлатилади.

Тоza сувларни узатишга мўлжалланган консолли насосларнинг иш унумдорлиги $5 \div 360 \text{ м}^3/\text{соат}$ ва босими эса $10 \div 90 \text{ м}$ га тенг бўлади. Таркибида ўлчами 1 мм гача бўлган қаттиқ заррачаларни 0,2 % миқдорида (масса бўйича) ушлаган актив тоza суюкликларни (температураси — 40 дан 90° С гача бўлган) узатиш учун мосланган консолли насослар қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 2500 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 10 \div 250 \text{ м}$.

Бундан ташқари, температураси 200°С гача бўлган актив, кристалланадиган ва қотиб қолувчи суюкликларни узатишга мўлжалланган консолли насосларнинг иш унумдорлиги $3 \div 300 \text{ м}^3/\text{соат}$, босими эса $15 \div 150 \text{ м}$ га тенг бўлади. Таркибида 4 % гача қаттиқ моддалар бўлган актив суюкликларни узатадиган насослар эса қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 5 \div 800 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 10 \div 70 \text{ м}$.

Ҳозирги вақтда бир қатор унификация қилинган насослар ишлаб чиқилмоқда. Жумладан Х—65—200 типидagi насос ёрдамида кимёвий суюкликлар узатиш мумкин: $Q = 100 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 50 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$.

Пластмассадан тайёрланган марказдан қочма насослар концентратсияси 30 %, зичлиги $1250 \text{ кг}/\text{м}^3$ ва температураси 60°С гача

бўлган сульфат кислота узатиш учун хизмат қилади. Масалан, бундай мақсад учун мўлжалланган 2ХМ-6П-2 насоси қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 10 \div 30 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 34 \div 25 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-3}$; $N = 4,5 \text{ кВт}$.

Сульфат ва бошқа бир қатор кислоталарни узатишда 3Х-9Р-1 (2) типидagi насос яхши натижа бермоқда. Насоснинг кислота билан тўқнашувда бўлган қисмлари қора металлдан тайёрланган бўлиб, турли навдаги резиналар билан қопланган бўлади. 3Х-9Р-1 (2) типидagi насос қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 30 \div 65 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 32 \div 25 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$; $N = 14 \text{ кВт}$.

Резервуарлардаги кимёвий агрессив суюқликларни узатиш учун консолли насослар ўрнига чўктирилган вертикал насослардан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бундай насосларнинг асосий қисми суюқликка доимо чўктирилган ҳолатда бўлади, насосни ҳаракатга келтирувчи қисми эса резервуарнинг тепасига жойлаштирилган бўлади. Масалан, сульфат, азот, фосфор ва бошқа кислоталарни узатишга мўлжалланган XII типидagi насосларнинг босими 50 м гача бўлиб, соатига $10 \div 600 \text{ м}^3$ микдоридagi суюқликни узатиши мумкин.

Таркибида қаттиқ заррачалар бўлмаган ва температураси 165°C дан кам бўлган сувни узатиш учун ЭП типидagi маркадан қочма насослар ҳам ишлатилади. Бундай насослар қуйидаги техник характеристикаларга эга: $Q = (1,8 \div 6,9) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$; $H = 440 \div 700 \text{ м}$; $n = 50 \text{ с}^{-1}$; $\eta = 0,65 \div 0,75$; $N = 108 \div 410 \text{ кВт}$.

Таркибида 50 % гача қаттиқ заррачалар бўлиб, температураси 80°C гача бўлган пульпа ва суспензия кўринишидаги агрессив суюқликларни узатиш учун ПХП типидagi насослар ишлатилади.

Турли кимёвий агрессив ва нейтрал ҳамда таркибида қаттиқ моддалар бўлган суюқликларни узатиш учун АХО-65-40-200, ТХИ-500-20-И-Ш ва Х40-32-125П типидagi электр насосли агрегатлар ҳам ишлатилади.

Кимёвий актив, радиоактив, захарли ва енгил алангаланиб кетувчи суюқликларни ҳамда юқори температура ва босим таъсирида турган суюқликларни (суюқлик ва унинг бугларини ташқи муҳитга сирқиб чиқиб кетиши мумкин бўлмаган ҳолатда) узатиш учун ХГВ ва ЦНГ типидagi сальниксиз герметик электр насослар қўлланилади.

Кам микдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш учун уюрмали маркадан қочма насосларни ишлатиш мақсадга мувофиқ. Бундай насослар абразив қўшимчиси бўлмаган, кимёвий актив суюқликларни узатиш учун ишлатилади: $Q = (0,16 \div 12,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $H = 10 \div 300 \text{ м}$.

Ўқли насослар буглатиш қурилмалари, кристаллизаторлар, реакторлар ва бошқа кимёвий қурилмалардан мажбурий циркуляция қилиш учун фойдаланилади.

Кам микдордаги суюқликларни юқори босимда ҳамда қовушоқли юқори ва ўта оқувчан иссиқ ва совуқ суюқликларни узатиш учун турли типдаги поршенли насослардан фойдаланилади. Масалан, ХТ типидagi поршенли насос температураси 60°C гача

бўлган енгил учувчан суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Температураси 100°C гача бўлган агрессив суюқликларни узатиш учун эса ХТР типигаги насосдан фойдаланилади.

НД типигаги поршенли насослар тоза нейтрал ва агрессив суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Масалан, юқори босимли полиэтилен ишлаб чиқаришида ишлатилаётган насослар қуйидаги кўрсаткичларга эга: $P = 250$ мПа; $Q = 0,04 \div 0,1$ м³/соат.

Таркиби механик қўшимчали агрессив суюқликлар, пульпалар ва бошка махсулотларни узатиш учун винтли насослар (бир винтли 1В-80/5Х-1; уч винтли 3ВХ21/25, 3ВХ216/25) ишлатилади.

Температураси 60°C гача бўлган кимёвий актив суюқликларни ва электрокимёвий қурилмаларда ишлатиладиган металл гидроксидлари суспензияларини узатиш учун тишли насослар қўлланилади.

Қовушоклиги $(1 \div 15) \cdot 10^{-2}$ Па·с ва температураси $20 \div 50^{\circ}\text{C}$ бўлган полимер эритмалари, эмульсиясиз каучуклар ва концентранган нотурғун латекслар, йигириш эритмаларини узатиш мақсадида коловратли насослар ишлатилади. Кимё саноатининг барча тармоқларида кенг миқёсда поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналаридан фойдаланилади.

Турбокомпрессор ва турбогазодувкалар тузилишининг соддалиги, ихчамлиги ва газларни бир меъёрда узатиш билан бошка компрессорлардан фаркланади. Буларнинг энг катта афзаллиги шундаки, улар газларни тоза ҳолда узатади. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларда тезюрар ва инерцион кучланишлар бўлмагани учун уларни енгил фундаментларга ҳам ўрнатиш ҳамда тўғридан-тўғри электр двигателга улаш мумкин. Турбокомпрессорлар кўп миқдордаги газларни $10000 \div 20000$ м³/соат, 3 мПа гача босимда узатади. Ҳозирда кўп боскичли турбокомпрессорлар газларни 30 мПа гача босимда узатиш мумкин.

Кимё саноати корхоналарида ҳавони сиқиш ва узатиш учун К-500 61-5 маркали турбокомпрессор ишлатилади. Бу турбомашина қуйидаги характеристикага эга: нормал шароитдаги иш унумдорлиги 8,50 м³/с (қуруқ хаво бўйича), 8,75 м³/с (нам хаво бўйича); газнинг босими дастлабки 0,1 мПа, охириги 0,88 мПа; компрессорнинг истеъмол қиладиган қуввати 3000 кВт; ҳайдаш патрубкасидан чиқаётган газнинг температураси 135°C ; компрессорни ишлатиш учун сарф бўладиган ўртача солиштирма қувват 5,54 кВт/(м³·мин).

Бошка соҳаларда (масалан, синтетик каучук ва полиэтилен ишлаб чиқаришларида, газни қайта ишлаш заводларида, бутанни пиролиз қилишга мўлжалланган технологик қурилмаларда) газларни сиқиш ва узатиш учун К-400-51-2, К-60-80-1, К-380-103-1, К-535-181-1, К-605-181-1 маркали турбокомпрессорлар ишлатилади.

Ҳозирда саноат газлари (кислород, азот, фреон, азот — водородли аралашма, турли углеводородлар)ни сиқиш ва узатиш учун бир қатор такомиллаштирилган марказдан қочма компрессор машиналар (УЦКМ) ишлаб чиқилди.

Кам миқдордаги ($10000 \text{ м}^3/\text{соат}$ гача) газларни юқори босимда (100 мПа гача) узатиш учун поршенли компрессорлар ишлатилади.

Кимё саноатида 2ВУ1-2,5/1,3М7, 2ВМ4-24/9С, 4М10-200/22, ВТ-1,25/26М1,3С5ВП-16/70, 202ГП-12/3 ва хоказо маркали поршенли компрессорлар ишлатилади. Мисол учун хавони сиқишга мўлжалланган 2ВУ1-2,5/1,3 М7 маркали поршенли компрессор куйидаги характеристикага эга: иш унумдорлиги $2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$; босим сўришда — $0,1 \text{ мПа}$, ҳайдашда — $0,9 \text{ мПа}$; электр двигателнинг қуввати $18,5 \text{ кВт}$. Поршенли компрессорларнинг асосий кўрсаткичлари ОСТ-26,12. 758-82 да берилган.

Кимё саноатида ўрта босимли В-Ц 14-46-5К-02, В-Ц12-49-8-01 ва ЦП-40-8К маркали марказдан қочма вентиляторлар энг кўп ишлатилади. Бундай вентилятор куйидаги кўрсаткичларга эга: иш унумдорлиги $3,67 \div 5,55 \text{ м}^3/\text{с}$; босим $2360 \div 2550 \text{ Па}$; $n = 1400 \div 1600 \text{ мин}^{-1}$.

Ёпиқ резервуар ёки қурилмалардан ҳаво, инерт газларни сўриб олиш учун вакуум-насослар ишлатилади. Вакуум-насослар сўриб олган ҳаво ёки газларни сиқиб атмосферага чиқариб юборади.

Зич ёпиладиган вакуум системалардан намлик томчилари ва механик ифлосликлардан тозаланган ҳавони, ноагрессив газлар, буглар ва буг-газ аралашмаларини сўриб олиб, ҳайдаш учун НВЗ-20 маркали вакуум-насос ишлатилади. Атроф-муҳитдаги ҳавонинг температураси $10 \div 30^\circ\text{C}$ дан кам бўлиши керак.

Вакуум ҳосил қилиш учун сув ҳалқачали насослар ҳам ишлатилади. Агрессив муҳитларда сийраклантиришни ҳосил қилиш учун ВВН маркали сув ҳалқачали вакуум-насослар қўлланилади. Масалан, ВВН2-50Х маркали вакуум-насоснинг иш қисми таркибида никелли ушлаган қотишмадан тайёрланган бўлиб, иш унумдорлиги $50 \text{ м}^3/\text{мин}$ га тенг.

ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 5.1. Гидравлик машиналарнинг умумий турлари. Насослар ва компрессорлар қандай катталиклар билан характерланади?
- 5.2. Насосларнинг босими ва сўриш баландлиги ўртасида қандай фарқ ва умумийлик бор?
- 5.3. Марказдан қочма насоснинг ишлаши ва унинг универсал характеристикаси ўртасида қандай боғлиқлик мавжуд? Бундай насос учун пропорционалик конунининг мазмуни нимадан иборат?
- 5.4. Поршенли ва плунжерли насосларнинг ўхшашлиги. Бундай насосларнинг ҳақиқий иш унумдорлигини қайси тенглама орқали аниқлаш мумкин?
- 5.5. Тишли, пластинали, винтли, ингичка оқимли, пропеллерли, уормали насосларнинг асосий фарқлари нималардан иборат?
- 5.6. Монтежю ва эрлифтлар ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор?
- 5.7. Газларни изотермик, адиабатлик ва политропик сиқишда бажарилган солиштирма иш ва ташқи муҳитга тортиб олиниши лозим бўлган иссиқлик миқдорлари қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 5.8. Вентилятор қандай мақсадлар учун ишлатилади? Уларнинг асосий кўрсаткичлари қайси тенгламалар орқали топилади?
- 5.9. Турбокомпрессорлар ва турбогазовувкаларнинг ишлаш принципи. Уларнинг умумий ва хусусий томонлари.

- 5.10. Идеал ва ҳақиқий порошени компрессорларнинг индикатор диаграммалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 5.11. Роторли компрессорларнинг турлари. Уларнинг афзалликлари ва камчиликлари нималардан иборат?
- 5.12. Насосларнинг ишлатилиш соҳалари. Уларни қандай принципда танлаш мумкин?

6 - б о б . С У Ю Қ Л И Қ М У Х И Т Л А Р И Д А А Р А Л А Ш Т И Р И Ш

6.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Суюқлик билан боғлиқ бўлган системалар (суюқлик — суюқлик, суюқлик — қаттиқ жисм, суюқлик — газ)даги аралаштириш энг муҳим гидромеханик жараён бўлиб, муҳитга ташқи куч таъсирида кўшимча импульс беришга асосланган. Аралаштиригич, суюқлик ёки газнинг ингичка оқими таъсирида қурилма ҳажмидаги окувчан муҳит заррачаларини бир-бирига нисбатан кўп маротаба силжитишга асосланган жараён *аралаштириш* деб аталади.

Аралаштириш куйидаги мақсадлар учун ишлатилади: а) қаттиқ заррачаларни суюқлик ҳажмида бир текисда тарқатиш (суспензия ҳосил қилиш); б) суюқлик заррачаларини тегишли ўлчамларгача майдалаш ва уларни суюқлик муҳитда бир текисда тарқатиш (эмульсия ҳосил қилиш); газ заррачаларини суюқликда бир текисда тарқатиш (аэрация); г) суюқликни иситиш ёки совутиш жараёнларини тезлаштириш; д) аралашадиган системалардаги (масалан, қаттиқ материалларни суюқлик ёрдамида эритиш) модда алмашилишини тезлаштириш.

Аралаштириш пайтида чегара қатламнинг қалинлиги камаяди ва ўзаро таъсир қиладиган фазаларни ажратувчи юза доимо янгиланиб туради. Бунда муҳитнинг турбулентлик даражаси ортиб, фазалар ўртасида иссиқлик ёки модда алмашилиш шарт-шароитлари яхшиланади. Оқибатдә суюқлик муҳитда аралаштириш кимёвий, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари тезлигининг кўпайишига олиб келади.

Кимё саноатида аралаштиришнинг куйидаги усулларидан фойдаланилади: 1) механик; 2) циркуляция; 3) турбулизатор ёрдамида; 4) пневматик. Бу усулларни танлаш пайтида бир неча шарт-шароитлар ҳисобга олинади: аралаштиришнинг мақсади; жараённинг асосий характеристикалари (температура, босим); аралашадиган муҳитнинг хоссалари; қурилманинг иш унумдорлиги.

Самарадорлик ва тезлик аралаштирувчи қурилмаларнинг энг муҳим характеристикалари ҳисобланади. Ҳар хил жараёнларда аралаштириш самарадорлиги турлича белгиланади. Масалан, агар қаттиқ модданинг суюқликдаги суспензияси текшириладиган бўлса, аралаштириш самарадорлиги қаттиқ модда заррачаларининг суюқликда бир хил тарқалиш вақти билан белгиланади. Агар аралаштириш иссиқлик алмашилишини тезлатиш учун ишлатилса, у ҳолда жараён самарадорлиги муҳитдаги иссиқлик бериш

коэффициентларининг канчага кўнайиши билан белгиланади. Аралаштиришнинг тезлиги тегишли мақсадга эришиш учун сарф бўладиган вақт билан белгиланади.

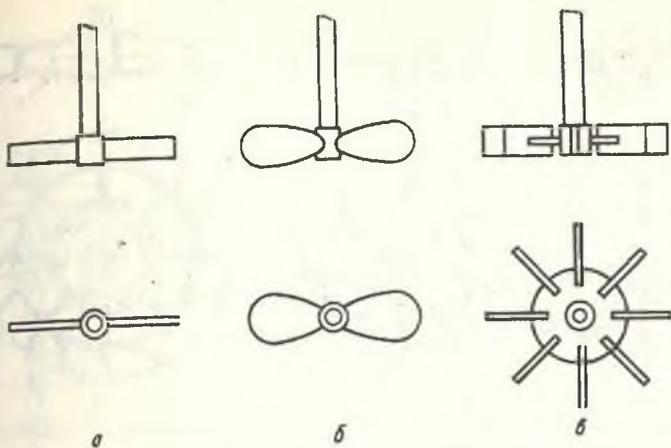
6.2-§. МЕХАНИК УСУЛДА АРАЛАШТИРИШ

Саноат ишлаб чиқаришларида турли айланувчан механик аралаштиргичлар ишлатилади. Энг кўп қўлланиладиган аралаштиргичлар асосан уч турга бўлинади (6.1- расм): 1) парракли; 2) пропеллерли (винтли); 3) турбинали.

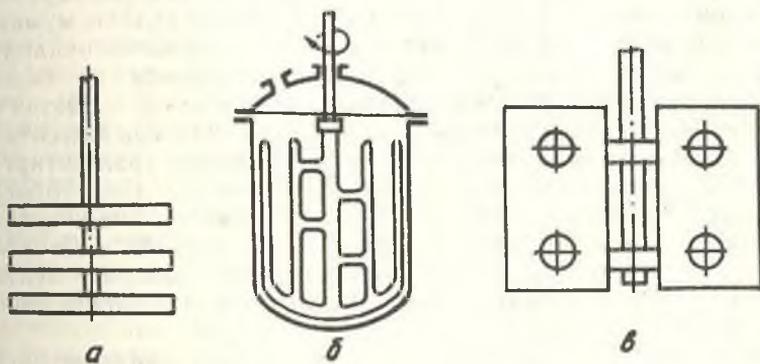
Парракли аралаштиргич бир ёки бир нечта парракдан иборат бўлади (6.1, 6.2- расмлар). Бир парракли оддий аралаштиргичлар қовушоқлиги кичик бўлган ($\mu < 0,1$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Қовушоқлиги катта бўлган суюқликларни аралаштириш учун кўп парракли ва махсус тайёрланган аралаштиргичлардан фойдаланилади. Чўкма ажратувчи системаларни аралаштириш учун якорли аралаштиргичлар ишлатилади. Агар аралаштиргичнинг диаметрини d , қурилманинг диаметрини D , парракнинг кенглигини b , қурилманинг тубидан аралаштиргичгача бўлган масофани h билан белгиласак, у ҳолда парракли аралаштиргичлар қуйидаги ўлчамларга эга бўлади: $d = 0,6 \div 0,9 D$; $b = 0,1 \div 0,2 D$; $h \leq 0,3D$. Парракли аралаштиргичлар минутига 400 мартагача айланиши мумкин, одатда $n = 20 \div 80$ айл/мин.

Пропеллерли аралаштиргичнинг асосий иш органи ўққа ўрнатилган пропеллер (ёки винт) дан иборат (6.3- расм). Ўқ горизонтал, вертикал ёки қия ўрнатилган бўлиши мумкин. Винтлар икки ёки уч қанотли бўлади. Қанотлар суюқликда худди винт каби ҳаракат қилади. Пропеллерли аралаштиргичларни ҳаракатчан ва қовушоқлиги бир оз катта бўлган ($\mu < 6$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатиш мақсадга мувофиқдир. Бундай аралаштиргич муҳитни яхши аралаштирганда катта тезлик билан айланади (айрим шароитда $n = 40$ айл/с гача етади). Винтли аралаштиргич қуйидаги катталикларга эга: $d = 0,25 \div 0,33 D$; $h = 0,5 \div 1 D$; $n = 150 - 1000$ айл/мин. Парракли аралаштиргичларга қараганда пропеллерли аралаштиргичларнинг самардорлиги анча юқори, бироқ уларнинг ишлаши учун кўп энергия сарфланади. Винт қия жойлаштирилса аралаштиришнинг самардорлиги ортади.

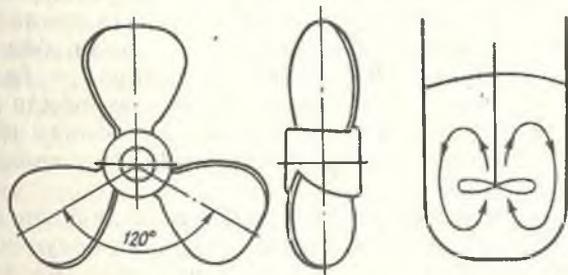
Турбинали аралаштиргичнинг асосий иш органи турбина ғилдираги бўлиб, у вертикал ўққа жойлаштирилган бўлади (6.4- расм). Турбина ғилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучнинг таъсирига асосланган. Суюқлик аралаштиргичнинг марказий тешикчаларидан кириб, у ерда марказдан қочма куч таъсирида тезланиш олган ҳолда ғилдиракдан радиал йўналишда чиқиб кетади. Ғилдиракда суюқлик вертикал йўналишдан горизонтал йўналишга ўтиб, ундан катта тезлик билан чиқади. Бундай аралаштиргич қовушоқлиги кам ва катта бўлган ($\mu < 500$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Турбинали аралаштиргич учун $d = (0,15 \div 0,6) D$ ва $n = 200 \div 2000$ айл/мин.



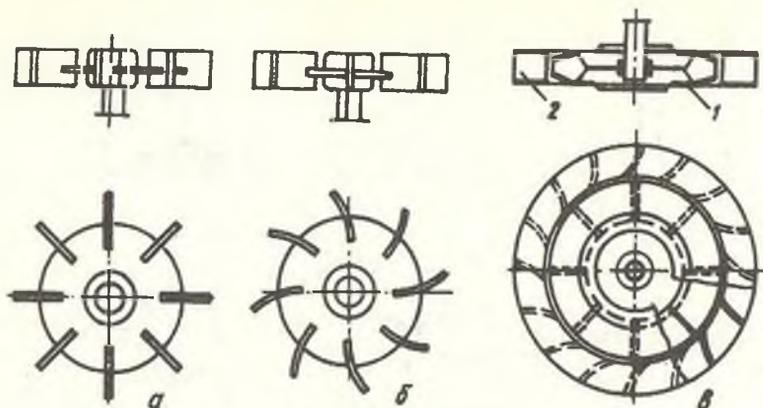
6.1- расм. Аралаштиргич турлари:
 а) парракли; б) пропеллери; в) турбияли.



6.2- расм. Парракли аралаштиргичнинг турлари:
 а) рамали; б) якорли; в) япроксимон.



6.3- расм. Пропеллерли аралаштиргич.



6.4- расм. Турбинали аралаштиргич турлари:

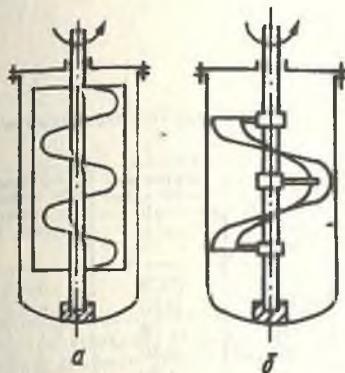
а) очик тўғри куракчали; б) очик кия куракчали; в) ёпик турбинали; 1 — турбина; 2 — йунаштиргич.

Бундай аралаштиргичнинг самарадорлиги жуда юкори. Турбинали аралаштиргични таркибида ўлчами 25 мм гача етадиган заррачаларни бор суюқликларни аралаштириш учун ҳам қўллаш мумкин.

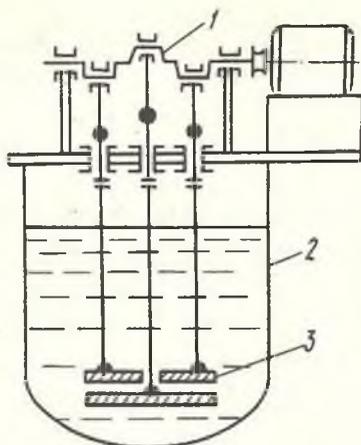
Кимё саноатида юкорида айтиб ўтилган аралаштиргичлардан ташкари шнекли, лентали, планетар, вибрацион ва бошқа аралаштиргичдан ҳам фойдаланилмоқда. Масалан, ноньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун шнекли ва лентали аралаштиргичлар ишлатилади (6,5- расм). Шнекли аралаштиргич эффектив қовушоқлик коэффициентини $\mu_{эф} = 500$ Па.с бўлган массаларни узлуксиз циркуляция қилишга хизмат қилади. Бундай аралаштиргичнинг айланиш частотаси $n = (1 \div 4)$ айл/с. Лентали аралаштиргичлар ёрдамида қовушоқлиги юкори бўлган ($\mu_{эф} = 3 \cdot 10^3$ Па.с) ноньютон суюқликларни аралаштириш имконияти вужудга келади.

6.6- ва 6.7- расмда вибрацион ва планеталар аралаштиргич кўрсатилган. Ушбу қурилмалар катта ҳажмли (100 м^3) ва ўта катта ҳажмли (1000 м^3 ва ундан кўп) қурилмалардаги турли қовушоқликка эга бўлган (100 Па.с гача ва ундан кўп) ҳам ньютон, ҳам ноньютон суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган. Масалан, собик Ленинград технология институтини таклиф этган аралаштиргичнинг вали узатманинг ташқи вали билан Гук шарнири орқали уланган (6.7- расм). Гук шарнири ёрдамида аралаштиргич икки хил тезлик билан (ўз ўқи атрофида бурчак тезлиги ω_1 ва узатма ўқи атрофида қўшимча планетар айланма тезлик ω_2) ҳаракатланади. Оқибатда қурилмадаги гидродинамик вазият яхшиланади.

Ҳамма аралаштиргичлар айланма ҳаракат тезлигининг қийма-тига кўра икки турга бўлинади: 1) секин ҳаракат қилувчи; 2) тез ҳаракат қилувчи. Агар паррак чеккасининг айланма ҳаракат тезлиги 1 м/с атрофида бўлса, бундай аралаштиргичлар (масалан, якорли, рамали ва бошқа) секин ҳаракат қилувчи аралаштиргич



6.5- расм. Шнскли (а) ва лентали (б) аралаштиргичлар.



6.6- расм. Вибрацион аралаштиргичли қурилма

1 — узатма; 2 — қобик; 3 — вибрацион аралаштиргич.

қаторига киради. Тез ҳаракат қилувчи аралаштиргичларда (масалан, винтли, турбинали ва бошқа) айланма ҳаракат тезлиги 10 м/с гача етиб боради. Аралашаётган суюқлик муҳитдаги гидродинамик режимга кўра ҳам аралаштиргичларнинг ҳаракат қилиш тезлиги даражасини белгилаш мумкин. Турбулент ва оралик режимда ишлатилаётган аралаштиргичлар тез ҳаракат қилувчи, ламинар режимда ишлатилаётгани эса секин ҳаракат қилувчи аралаштиргичлар деб юритилади.

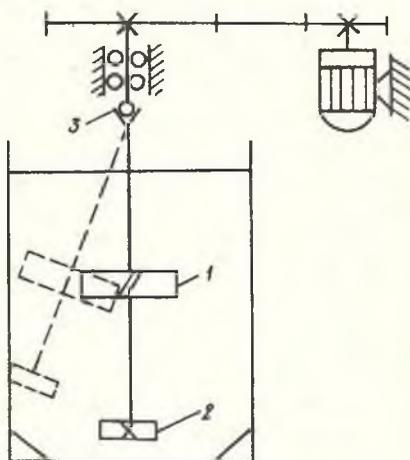
Аралашаётган суюқликнинг гидродинамик режими Рейнольдс мезонининг бошқа кўриниши билан аниқланади:

$$Re_m = \frac{\omega r \rho}{\mu} = \frac{\rho n d^2}{\mu},$$

бу ерда n — аралаштиргичнинг айланиш частотаси, айл/с;

ρ — аралашаётган суюқликнинг зичлиги, кг/м³; μ — аралашаётган суюқликнинг ковушоқлиги, Па·с; d — аралаштиргичнинг диаметри, м.

Суюқлик ҳаракатининг ламинар режимдан оралик ёки турбулент режимга тўғри келган Re_m нинг критик сон қиймати асосан аралаштиргичнинг конструкциясига боғлиқ бўлади. Тез ҳаракат қилувчи ара-



6.7- расм. Планетар аралаштиргичли қурилма:

1 — епик турбинали аралаштиргич; 2 — уч паррақли аралаштиргич; 3 — Гук шарнири.

лаштиргич учун ўрта ҳисоб билан $Re_{м.кр} \approx 50$. Айрим ара-
лаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари 6.1-жад-
валда берилган.

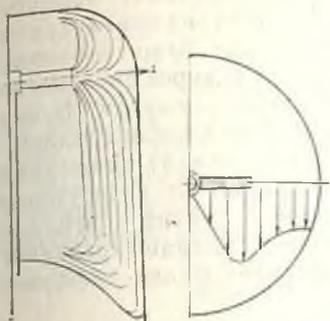
6.1-жадвал. Аралаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари.

Аралаштиргичларнинг тури	Режимлар чегарасидаги Re_m нинг қиймати		Аралаштир- гичнинг қарши- лик коэффициент и, ξ	Аппарат диамет- рининг аралаштир- гич диаметрига нисбати, D/d
	ламинар ва оралик	оралик ва турбулент		
Катакли	50	$2 \cdot 10^2$	23,50	3—6
Парракли	10	$50 - 10^4$	0,88	1,5—2,5
Рамали	10^3	10^4	1,28	1,1—1,3
Уч парракли	10^2	$5 \cdot 10^2 - 10^4$	0,56	3—6
Елик турбинали	10^2	10^3	4,20	3—6
Очик турбинали	10	$10^2 - 10^4$	8,40	3—6
Олти парракли	50	$5 \cdot 10^2$	3,00	2—4

Аралаштиргичи бўлган қурилмада аралаштиргичнинг ай-
ланма ҳаракати таъсирида суюқликнинг уч ўлчамли мурак-
каб оқими юз беради. Агар суюқликнинг тезлигини w деб
олсак, унинг тангенциал (айланма) улуши w_t , радиал улуши
 w_r , ўқ бўйича (аксиал) улуши w_z га тенг бўлади. Аралашти-
риш пайтидаги тезликларни ўлчаш шуни кўрсатдики, танген-
циал тезликнинг ўртача қиймати *радиал* ва *аксиал* тезликлар-
нинг ўртача қийматига нисбатан 10 марта кўп бўлиб, w_t нинг
қиймати қурилманинг баландлиги бўйича деярли ўзгармайди
ва амалий жиҳатдан аралаштиргичнинг баландлигига бог-
лиқ бўлмайди. Тангенциал тезлик қурилма диаметрининг маъ-
лум бир қийматига яқинлашганда ($D = 0,75d$) максимал қиймати-
га эришади ва сўнгра қурилма диаметрига нисбатан тескари
пропорционаллик бўйича камайиб боради.

Аралаштиргич катта частота билан айланганда ($Re_m >$
 10^2) суюқлик марказдан қочма куч таъсирида аралаштиргич
парраклари устидан радиал йўналишда ҳаракат қилиб оқади.
Бу оқим аралаштиргичнинг айланиш юзаси бўйлаб ҳаракат
қилиб, идиш деворига етгандан сўнг икки қисмга ажралади:
биринчи қисм қурилма девори бўйлаб, унинг туби томон ҳара-
катланади; иккинчи қисм юқорига қараб, суюқликнинг эркин
юзаси томон ҳаракатланади.

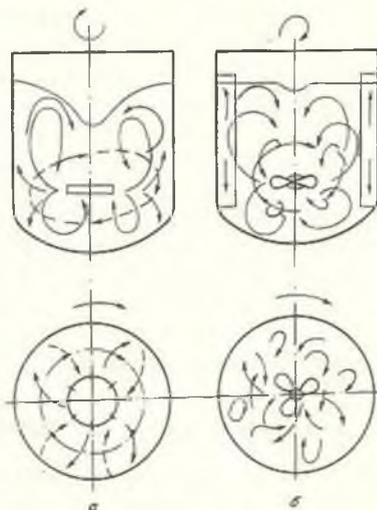
Радиал оқим пайдо бўлиши натижасида аралаштиргич кам-
раб олган оралик соҳа, яъни пасайтирилган босим соҳаси
пайдо бўлади, бу соҳага суюқликнинг эркин юзаси ва идиш-
нинг туби томонидан келаётган оқим интилади. Натижада бу
соҳада қурилманинг юқори қисмида юқоридан пастга йўнал-
ган, пастки қисмида эса пастдан юқорига йўналган суюқлик-



6.8- расм. Аралаштиргичли курилмадаги суюклик заррачалари харакатининг траскториялари.

6.9- расм. Аралаштиргичли курилмадаги суюклик окимининг шаклига кайтарувчи тўсиқларнинг таъсири:

а) тўсиқсиз; б) тўсиқ билан.



нинг аксиал оқими юз беради. Шундай қилиб, курилмада барқарор меридианал оқим ёки барқарор мажбурий циркуляция ҳосил бўлади. Кўпинча ишлатиладиган курилмада (агар идиш баландлигининг диаметрига нисбати $H/D < 1,5$ бўлганда) икки контурли циркуляция пайдо бўлади (6.8- расм). Бошқа ҳолатда иккиламчи меридианал оқим бирламчи айланма оқимнинг устига қўшилиб кетади, бунда суюкликнинг уч ўлчамли мураккаб ҳаракати пайдо бўлади. Натижада аралашаётган муҳит заррачаларининг турли йўналишлар бўйича силжиши юз беради.

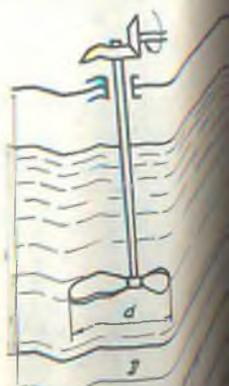
Шундай қилиб, ламинар оқимда ($Re_m < 10$) аралаштиргичли курилмаларда кам ривожланган уч ўлчамли ва эркин циркуляцияга эга бўлган оқим ҳосил бўлади. Бундай шароитда марказий цилиндрсимон уюрмалар бўлмайди, фақат периферия ва оралик соҳаларда оқимлар мавжуд бўлади. Оқимнинг турбулентлик даражаси ортган сари ($10 > Re_m > 10^3$) мажбурий циркуляция ҳосил бўла бошлайди ва курилмада периферия ва оралик соҳалардаги оқимлардан ташқари марказий цилиндрсимон уюрмалар ҳам пайдо бўлади.

Айланувчан аралаштиргичлар ишлатилганда суюклик юзасида воронка пайдо бўлиб, унинг чуқурлиги аралаштиргичнинг айланмиш частотаси кўпайиши билан ортиб боради. Воронка ҳосил бўлишини йўқотиш учун тез ҳаракат қилувчи аралаштиргичли курилманинг ички деворларига радиал кайтарувчи тўсиқлар ўрнатилади (6.9- расм). Бундай тўсиқларнинг энг мақбул сони 2—4 та бўлиб, унинг кенглиги $B = 0,1 D$, баландлиги эса $h = 2d$. Кайтарувчи тўсиқлар аралаштириш тезлигини бир оз оширади, ammo энергия сарфини 1,3—1,5 баробар кўпайтиради.

тиргич ёрдам
 тигич ва курил
 тигични ўрнатиш
 араш тиргич
 қолатда паст
 имларининг
 ит ҳосил қил
 илш зарур
 араш тиргич
). Диффузор
 дан каттарок
 да ўқли насос
 штиргичларни
 аг насосли эф
 ркуляция к
 иб, арашаш
 амайди.

§. МЕХАНИК

расида ичида
 алаштиригични
 иш қучлари
 ва уларнинг б
 энергия са
 усулидан



10-расм. Диффузор
 араш тиргичи
 - курил
 араш

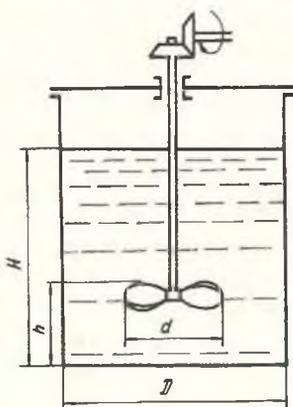
ишдики, араш
 иқликнинг
 иш частот
 риал боғлиқ
 икционал

Аралаштиргич ёрдамида ҳосил бўлган оқимнинг таркиби аралаштиргич ва қурилманинг конструктив тузилишига ҳамда аралаштиргични ўрнатиш усулига боғлиқ бўлади. Агар турбинали ёки винтли аралаштиргич қурилманинг тубига яқинроқ ўрнатилган бўлса, у ҳолатда пастки циркуляция соҳаси камаяди. Бунда суюқлик оқимларининг йўналиши ўзгаради. Бир жинсли аралаштирган муҳит ҳосил қилиш учун ўк (яъни аксиал) оқимларни ташкил қилиш зарур бўлади. Бундай шароитда диффузорли винтли аралаштиргичдан фойдаланиш таклиф этилади (6.10- расм). Диффузорнинг ички диаметри аралаштиргичнинг диаметридан каттароқ бўлади. Аралаштиргич билан диффузор биргаликда ўқли насос каби ишлайди.

Аралаштиргичларнинг муҳим катталиклари каторига аралаштиргичнинг насосли эффекти ҳам киради. Бу эффект вақт бирлиги ичида циркуляция қилинаётган суюқликнинг ҳажми билан белгиланиб, аралашаётган суюқликнинг қовушоклиги кўпайиши билан камаяди.

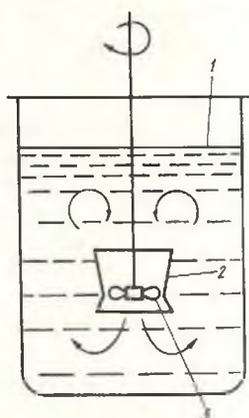
6.3- §. МЕХАНИК АРАЛАШТИРИШДАГИ ҚУВВАТ САРФИ

6.11- расмда ичида аралаштиргич ўрнатилган идиш кўрсатилган. Аралаштиргичнинг айланиши учун зарур бўлган энергия ишқаланиш кучларини енгишга ҳамда уюрмаларнинг ҳосил бўлиши ва уларнинг бузилишига сарфланади. Механик аралаштиришдаги энергия сарфини аниқлаш учун ўлчамларни анализ қилиш усулидан фойдаланилади (2- боб). Таҷрибалар шуни



6.10- расм. Диффузорли аралаштиргич:

1 — қурилма; 2 — диффузор; 3 — аралаштиргич.



6.11- расм. Аралаштириш учун энергия сарфини аниқлаш.

кўрсатдики, аралаштиргичнинг ишлаши учун зарур бўлган қувват N суюқликнинг зичлиги ρ ва қовушоклиги μ , айлантиргичнинг айланиш частотаси n ва унинг диаметри d га боғлиқ экан. Критериал боғлиқнинг умумий кўринишини аниқлаймиз. Дастлабки функционал боғлиқ қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$N = \varphi(\mu, \rho, n, d), \quad (6.1)$$

ёки

$$N = C\mu^x \rho^y n^z d^v \quad (6.2)$$

бу ерда C, x, y, z, v — сонли коэффициент ва даража кўрсаткичлари.

(6.2) тенгламада 5 та ўзгарувчан катталиқ бор. Демак, π -теоремага асосан, мезонларнинг сони $5 - 3 = 2$. Ушбу тенглама таркибидаги катталиқларнинг ўлчов бирликларини ёзамиз:

$$[N] = \text{Вт} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3};$$

$$[\mu] = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} = \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}};$$

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad [n] = \frac{1}{\text{с}}; \quad [d] = \text{м}.$$

Ўлчамларнинг тенгласини тузамиз:

$$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \left(\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}} \right)^x \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)^y \left(\frac{1}{\text{с}} \right)^z (\text{м})^v.$$

Ушбу тенгламани бошқача кўринишга келтирамиз:

$$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} = \text{кг}^{x+y} \text{с}^{-x-z} \text{м}^{-x-3y+v}$$

Асосий бирликлар учун тенгламалар системасини тузамиз:

$$\begin{array}{l} \text{кг} \\ \text{м} \\ \text{с} \end{array} \quad \begin{array}{l} 1 = x + y \\ 2 = -x - 3y + v \\ -3 = -x - z \end{array}$$

Ушбу тенгламаларга кирган қийматларни x орқали ифодалаб қуйидагиларга эришамиз:

$$y = 1 - x; \quad v = 5 - 2x; \quad h = 3 - x.$$

(6.2) тенгламани қуйидаги кўринишда қайта ёзамиз:

$$N = C\rho n^3 d^5 (\mu/\rho n d^2)^x$$

ёки

$$\frac{N}{\rho n^3 d^5} = C(\rho n d^2 / \mu)^{-x} \quad (6.3)$$

Ўлчамсиз комплекс $\frac{N}{\rho n^3 d^5}$ Эйлер мезони ёки қувват мезони K_N деб аталади ва Eu_m билан, мезон $\frac{\rho n d^2}{\mu}$ Рейнольдс мезонининг бошқа бир кўриниши бўлиб, Re_m билан белгиланади:

$$Eu_m = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N \quad (6.4); \quad Re_m = \frac{\rho n d^2}{\mu} \quad (6.5)$$

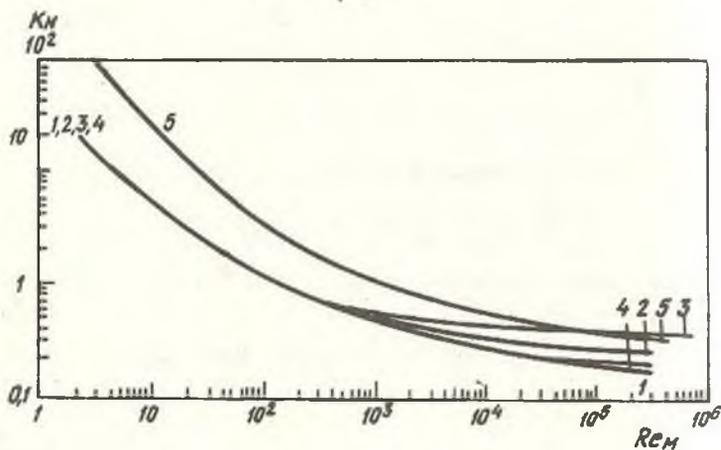
Демак, механик аралаштириш пайтидаги энергия сарфининг умумий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Eu_m = C Re_m^k, \quad (6.6)$$

Коэффициент C ва даража кўрсаткичи k нинг қийматлари тажриба йўли билан аниқланиб аралаштиргичнинг турига, қурилманинг тузилишига ва аралаштириш жараёнининг режимига боғлиқ бўлади. Айрим аралаштиргичлар учун $K_N = f(Re_m)$ боғлиқликнинг график кўриниши 6.12 расмда тасвирланган.

Агар қурилмадаги суюқликнинг баландлиги H , унинг диаметри D га тенг бўлмаса, (6.4) тенглама бўйича аниқланган қувватнинг қиймати тузатиш коэффициентига кўпайтирилиши керак:

$$f_H = \sqrt{\frac{H}{D}} \quad (6.7)$$



6.12- расм. Пропеллерли (1—4) ва рамали (5) аралаштиргичлар учун $K_N = f(Re_m)$ боғлиқликнинг кўриниши:

1 — $H/D=3$, тўсиқлари бўлмаган қурилма; 2 — $H/D=4$, тўсиқлари бўлмаган қурилма;
3 — $H/D=3$ тўсиқлари бўлган қурилма; 4 — диффузорли қурилма; 5 — $H/D=1,15$.

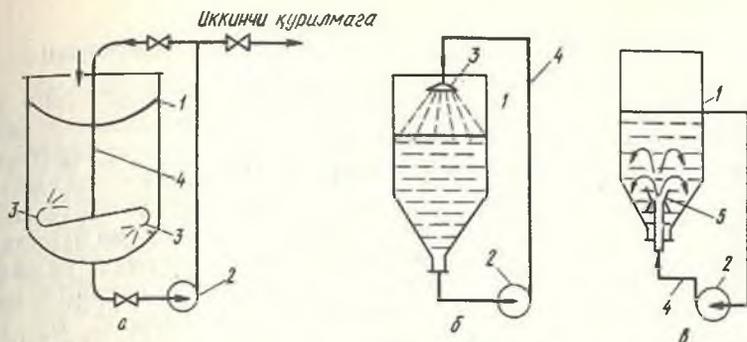
Аралаштиргичнинг двигатели истеъмол қиладиган қувват (кВт) тегишли тузатиш коэффициентларини ҳисобга олганда қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{эб} = \frac{1,3N f_m f_{ш} f_{3м} f_r f_n}{10^3 \eta} \quad (6.8)$$

бу ерда $f_m = 1,3$ — аралаштиргични ишга тушириш моментини ҳисобга олувчи коэффициент; $f_{ш} = 1,1 \div 1,2$ — қайтарувчи тўсиқлари бўлмаган ва ички деворининг гадир-будурлиги катта бўлган қурилмалар учун; $f_{3м} = 2 \div 3$ — ичида эмеёвик бўлган қурилмалар учун; $f_r = 1,1$ — термометр учун гильзаси бўлган қурилмалар учун; f_n — (6.7) тенглама бўйича; $\eta = 0,8 \div 0,95$ — узатишнинг фойдали иш коэффициентини.

6.4- §. ЦИРКУЛЯЦИОН АРАЛАШТИРИШ

Циркуляцион аралаштиришнинг чизмалари 6.13- расмда кўрсатилган. Суюқлик муҳитини тезда аралаштириш учун циркуляцион насосдан фойдаланилади. Суюқлик ҳайдаладиган трубопроводлар горизонтал юзага нисбатан бир оз қия қилиб, қурилма

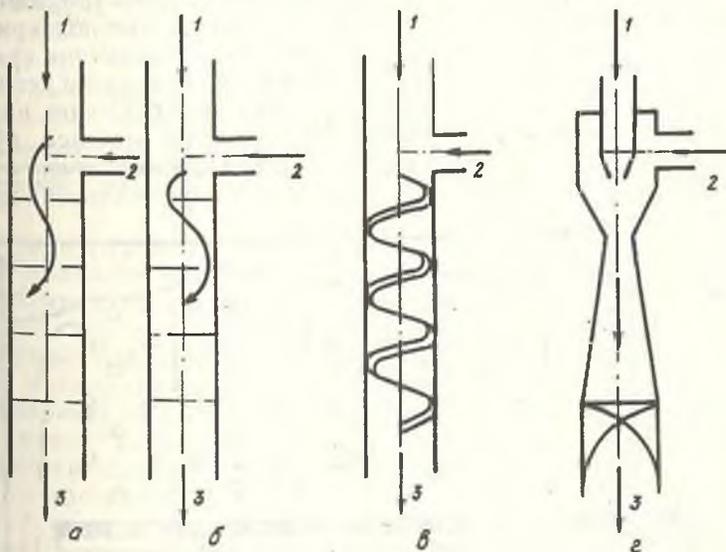


6.13- расм. Циркуляцион аралаштиришнинг чизмаси.

а, б — циркуляцион насос билан; в — циркуляцион насос ва эжектор билан; 1 — қурилма; 2 — циркуляцион насос; 3 — сочкич; 4 — трубопровод; 5 — эжектор.

деворига уринма ҳолатида бирлаштирилади. Трубопроводларнинг учлари махсус насадкалар билан таъминланган бўлади. Насадка ёрдамида суюқлик қурилманинг ҳажми бўйича сочиб берилди. Циркуляцион насос сифатида марказдан қочма ва ингичка оқимли насослар ишлатилади. Насоснинг иш унумдорлиги кўпайган сари циркуляциянинг самарадорлиги ортади.

Насос ёрдамида циркуляцион аралаштириш учун зарур бўлган энергия сарфи 5- бобда келтирилган тенгламалар ёрдамида аниқланади.



6.14- расм. Оқимда аралаштириш учун ишлатиладиган қурилма чизмаси. Қиритилган қўшимча:

а — диафрагма; б — ыринта тўсиқлар; в — винт; г — ингичка оқимли аралаштиргичда винт; 1, 2 — аралашма компонентларининг кириши; 3 — аралашманиннг чиқиши.

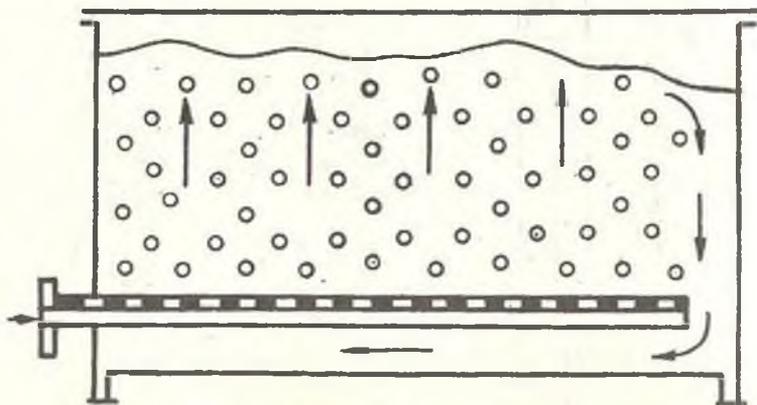
6.5-§. ТУРБУЛИЗАТОРЛАР ЁРДАМИДА АРАЛАШТИРИШ

Суюқликни оқим бўйлаб кўп маротаба аралаштириш учун трубопроводларга ёки уларга жойлаштирилган аралаштиргичларга махсус турбулизаторлар ўрнатилади. Турбулизаторлар (бошқача қилиб айтганда статик аралаштиргичлар) қаторига диафрагма оқим, кесувчи яримта тўсик ва винтлар киради (6.14-расм). Турбулизаторларга кирганда оқим ўзининг қиймати ва йўналишини ўзгартиради. Аралаштиришнинг ушбу турида оқимнинг энергияси сарф бўлади. Турбулизаторлар ёрдамида олиб борилдиган аралаштириш кўп энергия талаб қилади. Бу усул суюқликлар ўзаро эрувчанлик хоссаларига эга бўлган ва аралашма компонентларининг қовушоқлиги нисбатан кам бўлган шароитда ишлатилади. Суюқлик оқими катта тезлик билан ҳаракатланганда ва трубопроводнинг узунлиги нисбатан катта бўлганда турбулизаторлар ёрдамида аралаштириш мақсадга мувофиқдир.

Оқимнинг ўзида аралаштиришни ҳисоблаш пайтида турбулизаторлар маҳаллий қаршилиқлар сифатида олинади.

6.6-§. ПНЕВМАТИК АРАЛАШТИРИШ

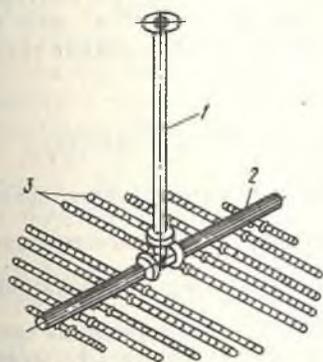
Қовушоқлиги унча катта бўлмаган (тахминан $\mu < 200$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ҳамда донасимон материалларни сувда ювиш учун пневматик усул (ёки барботажли аралаштириш) қўлланилади. Айрим шароитларда пневматик аралаштириш учун ҳаво ўрнига сув буги ишлатилади, бунда аралаштиришдан ташқари суюқликнинг исиши ҳам юз беради. Пневматик аралаштириш учун газ ёки буг суюқлик таркибига соплдаги тешиклар (ёки барботёр) орқали ўтади. Бунда газ (ёки буг) нинг ингичка оқимлари пуфакчаларга ажралиб, суюқлик массаси бўйлаб юқорига кўтарилади (6.15-расм). Бундай шароитда ҳосил бўлган пуфакчалар ўзи билан бирга суюқликнинг заррачаларини эргаш-



6.15-расм. Пневматик аралаштиргич.

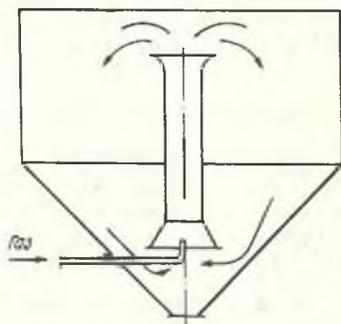
тириб кетади, бундан ташқари пуфакчаларнинг харакатига қарама-қарши, суюқликнинг барботаж қилинмаган қисмининг харакати бошланади. Натижада суюқлик муҳитида аралаштириш юз беради.

Енгил учувчан суюқликларни пневматик усул билан аралаштириш мумкин эмас, чунки бундай шароитда улар аралаштираётган газ билан бирга чиқиб кетади. Аралаштириш учун турли тузилишли барботёрлар ишлатилади. Агар аралаштириш пайтида газ билан суюқликнинг зич тўқнашуви зарур бўлса, у ҳолда 6.16-расмда кўрсатилган барботёр қўлланилади. Барботёрдаги газнинг келтирилган тезлиги 0,1 м/с гача етиши мумкин, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса $0,25 \div 0,4$ м/с ни ташкил этади.



6.16- расм. Барботёрнинг тузилиши:

- 1 — вертикал ҳаво узатувчи труба;
2 — горизонтал ҳаво узатувчи труба;
3 — ҳавони тарқатувчи трубалар.



6.17- расм. Эрлифтдан фойдаланилган аралаштиргич.

Сочилувчан донатор жисмларни пневматик аралаштириш учун эрлифт принциpidан фойдаланилади (6.17- расм). Ҳаво компрессор ёрдамида марказий трубага юборилади. Бундай шароитда марказий труба ичида газ, суюқлик ва қаттиқ жисмнинг аралашмаси пайдо бўлади, бу аралашманинг зичлиги идишнинг бошқа қисмидаги аралашма зичлигидан кам бўлади. Ушбу зичликларнинг айирмаси таъсирида қурилмадаги бутун массанинг циркуляцион харакати пайдо бўлади. Эрлифтдаги газнинг келтирилган тезлиги 2 м/с гача, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса 1 м/с гача етади.

Айниқса газни (масалан, ҳаво кислородини) суюқлик билан кимёвий реакцияга кириши зарур бўлганда пневматик усулни қўллаш мақсадга мувофиқ. Бундай аралаштириш *аэрация* деб юритилади. Аэрацион қурилмаларнинг самарадорлиги суюқлик муҳитнинг аралашшидан ташқари кислород билан тўйиниш даражаси орқали ҳам характерланади.

Пневматик аралаштирувчи қурилмаларни ҳисоблаш тегишли босимни ва сиқилган ҳаво сарфини аниқлашдан иборатдир. Аралаштириш учун зарур бўлган сиқилган ҳавонинг босими (P , Па) қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$P = 1,2 H \rho_c g + P_0 \quad (6.9)$$

бу ерда H аралашаётган суюқлик устунининг баландлиги, м; ρ_c — аралашаётган суюқликнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; P_0 — суюқлик устидаги босим, Па.

Ҳаво линиясидаги босимнинг йўқолишини суюқлик устуни қаршилигининг 20 процентига тенг деб олинган (коэффициент 1, 2)

Қурилмадаги суюқликнинг 1 м^2 эркин юзасига тўғри келган ҳаво сарфини қуйидагича қабул қилинади: секин аралаштиришда — $0,8 \text{ м}^3/\text{м}^2$ мин. тез аралаштиришда — $1 \text{ м}^3/\text{м}^2$ мин (ёки $60 \text{ м}^3/\text{м}^2$ соат) Барботёр тешиқларидан чиқаётган газнинг тезлиги $20 \div 40 \text{ м}/\text{с}$ ни ташкил этади.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 6.1. Суюқлик муҳида аралаштириш жараёнининг аҳамияти. Аралаштиришнинг нечта усули мавжуд?
- 6.2. Паррақли ва винтли аралаштиргичнинг асосий характеристикалари ва ишлатилиши.
- 6.3. Турбинали аралаштиргичнинг турлари, унинг бошқа механик аралаштиргичлардан афзалликлари.
- 6.4. Ньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун қандай аралаштиргичлардан фойдаланилади? Аралаштириш пайтидаги суюқлик ҳаракатининг таркиби қандай тузилган?
- 6.5. Механик аралаштириш учун энергия сарфининг умумий критериял тенгласини қандай келтириб чиқариш мумкин?
- 6.6. Суюқликни оқим бўйлаб аралаштириш учун қандай турбулизаторлар ишлатилади?
- 6.7. Пневматик аралаштиришнинг моҳияти. Бундай аралаштириш учун ҳавонинг сарфини қандай аниқлаш мумкин?
- 6.8. Эрлифт ва аэрация тушунчалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 6.9. Механик аралаштиргичи бўлган қандай замонавий қурилмаларни биласиз?
- 6.10. Суюқлик муҳидаги аралаштириш жараёнларини қайси принциплар асосида тезлаштириш мумкин?

7 - б о б . С У Ю Қ Л И К Т У Р Л И Ж И Н С Л И СИСТЕМАЛАРНИ АЖРАТИШ

7.1-§. ТУРЛИ ЖИНСЛИ СИСТЕМАЛАРНИНГ ТУРЛАРИ ВА УЛАРНИ АЖРАТИШ УСУЛЛАРИ

Ҳар хил фазалардан (масалан, суюқлик — қаттиқ модда, суюқлик — газ ва ҳоказо) таркиб топган аралашмалар *турли жинсли система* деб аталади. Кўпчилик турли жинсли системалар ишлаб чиқариш шароитида технология жараёнларини амалга оширишда ҳосил бўлади. Ҳар қандай турли жинсли система икки ёки ундан кўп фазадан таркиб топади. Заррачалари жуда

майдаланган фаза *дисперс* ёки *ички фаза* дейилади. Дисперс фаза заррачаларини ўраб олган фазаси эса *дисперсион* ёки *ташқи фаза* дейилади.

Фазаларнинг физик ҳолатига кўра турли жинсли системалар қуйидаги гуруҳларга бўлинади: *суспензиялар*, *эмульсиялар*, *кўпиклар*, *чанглар*, *тутунлар*, *туманлар*.

Суюқлик-ва қаттиқ модда заррачаларидан таркиб топган аралашма *суспензия* дейилади. Қаттиқ модда заррачаларининг ўлчамига кўра суспензиялар шартли равишда қуйидаги турларга бўлинади: дагал суспензиялар (заррачалар ўлчами 100 мкм дан ортиқ); *майин суспензиялар* (заррачалар ўлчами $0,5 \div 100$ мкм); *лойқасимон суспензиялар* (заррачалар ўлчами $0,1 \div 0,5$ мкм атрофида); *коллоид эритмалар* (заррачалар ўлчами 0,1 мкм дан кичик). Саноатда суспензиялар жуда кўп учрайди. Қаттиқ сочилувчан моддаларни суюқлик билан аралаштириш пайтида суспензия ҳосил бўлади. Озиқ-овқат саноатидан ҳам суспензияларга жуда кўп мисоллар келтириш мумкин. Масалан, крахмалли сут, пиво суслоли ва хоказо.

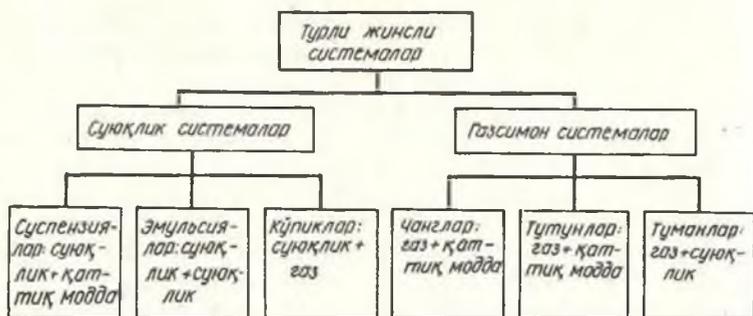
Эмульсиялар икки хил ўзаро аралаштирилган суюқликлардан иборат бўлиб, бунда биринчи суюқликнинг ичида иккинчи суюқликнинг томчилари таркаган бўлади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг интервалда ўзгариши мумкин. Одатда эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралиб кетади. Агар томчининг ўлчами анча кичик ($0,4 \div 0,5$ мкм дан кам) бўлса ёки стабилизатор қўшилса эмульсия турғун бўлади. Дисперс фазанинг концентрацияси ортиши билан фазалар инверсияси (яъни ўзаро алмашилиши) содир бўлиши мумкин.

Ўз таркибида газ пуфакчалари тутган суюқ система *кўпик* деб аталади. Суюқлик — газ системаси ўзининг хоссасига кўра эмульсияга яқин туради. Бир қатор гидромеханик ва модда алмашилиш қурилмаларида (барботажли скруббер, галвирсимон тарелкали абсорбер ва хоказо) суюқлик қатламидан газнинг ўтиш жараёнида кўпликли қатламлар ҳосил бўлади.

Ўз таркибида қаттиқ модданинг майда заррачаларини тутган газ системалари *чанглар* деб аталади. Чанг одатда қаттиқ моддаларни механик усуллар билан майдалаш ва бир жойдан иккинчи жойга узатиш пайтида ҳосил бўлади. Чанг таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами $5 \div 100$ мкм оралиғида бўлади.

Тутун таркибида ўлчами $0,3 \div 5$ мкм га тенг бўлган қаттиқ модда заррачалари бўлади. Тутунлар буг (ёки газ) ларнинг суюқ ёки қаттиқ ҳолатга конденсацияланиш жараёни орқали ўтишда ҳосил бўлади. Бундан ташқари, тутунлар қаттиқ ёқилғиларнинг ёниши пайтида ҳам пайдо бўлади.

Туманлар суюқлик ва газ фазалардан таркиб топган бўлади. Масалан, сув буғларини ҳаво ёрдамида совитиш процессида бугнинг конденсацияланиши натижасида туман ҳосил бўлади. Туман таркибидаги суюқлик заррачаларнинг ўлчами $0,3 \div 3$ мкм га тенг.



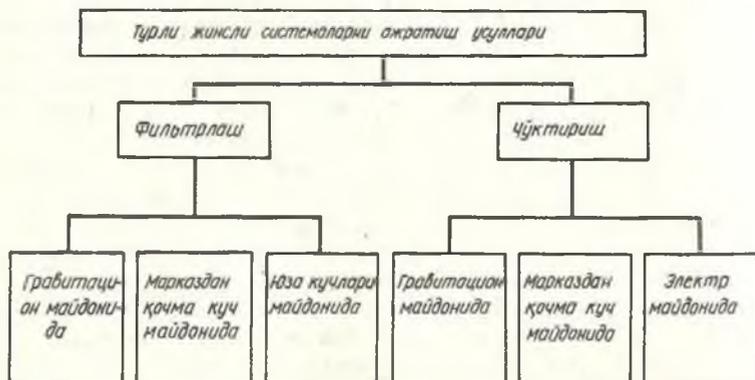
7.1- расм. Турли жинсли системаларнинг турлари.

Чанг, тутун ва туманлар аэродисперс системалар (ёки аэрозоллар) деб юритилади. 7.1- расмда турли жинсли системаларнинг турлари (синфлари) берилган.

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

Кимёвий технологияда турли жинсли системаларни ажратиш учун куйидаги гидромеханик усуллардан фойдаланилади; 1) чўктириш, 2) филтрлаш, 3) центрифугалаш, 4) суюқлик ёрдамида ажратиш. 7.2- расмда турли жинсли системаларни ажратиш турлари келтирилган.

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



7.2- расм. Турли жинсли системаларни ажратиш усуллари.

Огирлик инерция (жумладан, марказдан қочма куч) ёки электростатик куч ёрдамида суюқлик ва газсимон системалар таркибидаги қаттиқ ёки суюқ заррачаларни ажратиш чўктириш деб аталади. Агар чўктириш огирлик кучи таъсирида олиб борилса, бу жараён тиндириш деб юритилади. Тиндириш асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун ишлатилади.

Фильтрлаш — суюқ ва газсимон аралашмаларни говаксимон тўсиқ-фильтр ёрдамида ажратишдан иборат. Бу жараёнда говаксимон тўсиқ суюқлик ёки газни ўтказди, муҳитдаги қаттиқ модда заррачаларини эса тутиб қолади. Фильтрлаш босим ёки марказдан қочма куч таъсирида олиб борилади ва асосан суспензия ҳамда чанглари тўла тозалаш учун ишлатилади.

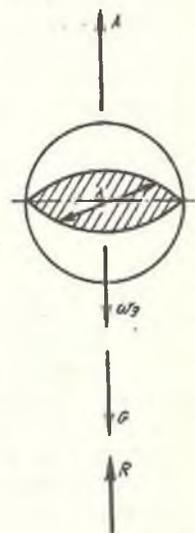
Центрифугалаш — суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч таъсирида яхлит ёки говаксимон тўсиқлар ёрдамида ажратиш жараёнидир. Суюқлик ёрдамида ажратиш усули деб газ таркибида бўлган қаттиқ заррачаларни бирор суюқлик иштирокида тутиб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён огирлик ёки инерция кучи таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Баъзан бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланилади.

Турли жинсли системаларни ажратишнинг юқорида баён этилган усуллари саноатда чўктиргичлар, чанг чўктирувчи камералар, фильтрлар, циклонлар, гидроциклонлар, центрифугалар, электрофильтрлар скрубберлар ва шу каби қурилмаларда олиб борилади.

7.2-§. ГРАВИТАЦИОН ЧЎКТИРИШ

Чўктириш усули суспензия, эмульсия ва чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Чўктириш тезлиги кичик бўлгани сабабли бу усул асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун қўлланилади. Чўктириш жараёни чангли газлар, суспензия ва эмульсиялар таркибидаги майда қаттиқ заррачаларнинг огирлик кучи таъсирида қурилма тубига чўкишига асосланган. Чўктириш жараёни тиндирувчи қурилмаларда олиб борилади.

Чўктириш тезлигини аниқлаш учун алоҳида олинган шарсимон қаттиқ заррачаларнинг суюқлик муҳитида эркин чўкишини текшира- миз. Бунда заррачага огирлик кучи G , кўтариш кучи A ва муҳитнинг қаршилиқ кучи R таъсир этади (7.3- расм). Чўктиргичнинг ҳаракатлан- тирувчи кучи ролини огирлик ва кўтариш



7.3- расм. Чўкаётган заррачага таъсир қилаётган кучлар:

G — огирлик кучи;
 A — кўтариш кучи;
 R — қаршилиқ кучи;
 d — заррачанинг диаметри; ω — заррачанинг эркин чўкиш тезлиги.

кучлари ўртасидаги фарқ яъни заррачаларнинг суюқликдаги огирлиги бажаради:

$$P = G - A = \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) \quad (7.1)$$

бу ерда d — заррача диаметри, м; g — огирлик кучи тезланиши, м/с²; ρ_k — заррача зичлиги, кг/м³; ρ_m — мухит зичлиги, кг/м³.

Мухитнинг қаршилиги R заррача йўналишига қарама-қарши бўлиб, ишқаланиш ва инерция кучидан таркиб топган. Ламинар оқимда ишқаланиш кучи инерция кучига нисбатан катта бўлади. *Стокс қонунига* кўра ламинар режимида шарсимон заррачанинг чўкишида мухитнинг қаршилиқ кучи R қуйидаги тенглама билан топилади:

$$R = 3\pi d \mu \omega_s, \quad (7.2)$$

бу ерда μ — мухитнинг динамик қовушоқлиги, Па·с; ω_s — заррачанинг эркин чўкиш тезлиги, м/с

Чўкаётган заррача дастлаб тезроқ чўкади, бир оздан сўнг мухитнинг қаршилиқ кучи ҳаракатлантирувчи кучга тенглашганда ўзгармас тезлик билан бир хилда чўка бошлайди. Шу ўзгармас тезлик чўкиш тезлиги дейилади. Демак заррача ўзгармас тезликка эга бўлганда $P = R$ бўлади. P ва R нинг қийматини тенглаштириб қуйидагиларни оламиз:

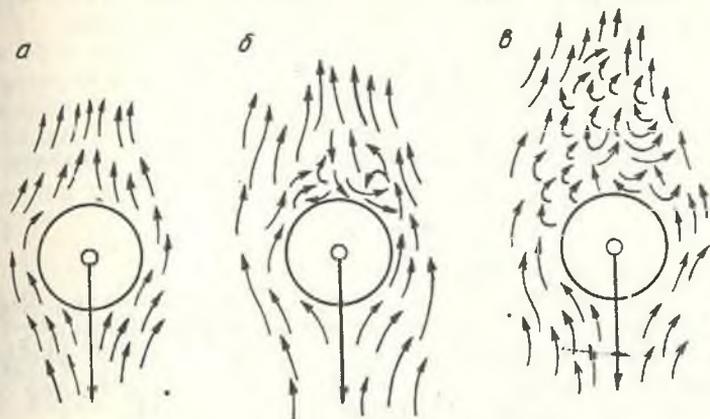
$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) = 3\pi d \mu \omega_s,$$

бу ердан чўкиш тезлиги

$$\omega_s = \frac{d^2 g (\rho_k - \rho_m)}{18\mu}. \quad (7.3)$$

Бу (7.3) тенглама *Стокс тенгламаси* деб юритилади ва $Re \leq 2$ бўлганда ишлатилади.

7.4- расмда қаттиқ шарсимон заррачанинг суюқликдаги ҳаракати кўрсатилган. Тезлик ва заррачанинг ўлчами кичик бўлганда ёки мухитнинг қовушоқлиги катта бўлганда, заррача суюқликнинг чегара қатлами билан қопланган бўлади, бундай ҳолатда оқим заррачани силлиқ айланиб ўтади (7.4- расм, а) Ламинар режимида оқимнинг энергияси асосан ишқаланиш қаршилигини енгишга сарфланади. Оқимнинг турбулентлиги ортиши билан (масалан, жисм ҳаракати тезлигининг кўпайиши) инерция кучларининг таъсири кўпая бошлайди. Ушбу кучлар таъсирида қаттиқ заррача юзасидаги чегара қатлам узилади, оқибат натижада заррачанинг орқа томони атрофида тартибсиз маҳаллий уюрмалар пайдо бўлади (7.4- расм, б) Рейнольдс критерийси маълум қийматларга эга бўлгандан сўнг, яъни ривожланган турбулент режимида (7.4- расм, в) ишқаланиш қаршилигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади, чунки бунда асосий кучни заррачанинг олд томонидаги қаршилиқ ташкил этади. Бундай шароитда автомедел режими бошланади. Ривожланган турбулентликда (яъни автомедел режими



7.4- расм. Каттик шарсимон заррачанинг суюқликдаги ҳаракати:

а — ламинар оқим; б — оралик режим; в — турбулент оқим.

мида) муҳитнинг қаршилиқ коэффициентини ўзгармас бўлади ($\xi = 0,44 = \text{const}$).

Турбулент режимда ($Re > 500$) заррачанинг орқа томонида уярма оқимлар пайдо бўлади ва шу билан биргаликда бир оз сийракланиш юз беради; бу ҳолат муҳит қаршилигининг кўпайишига олиб келади ва натижада заррачанинг чўкиш тезлиги секинлашади.

Турбулент режимда $Re > 500$ бўлганда, инерция кучлари ишқаланиш кучларидан устун туради. Бунда қаршилиқ кучи R Ньютон қонунига кўра топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho_k \omega_3^2}{2} \quad (7.4)$$

бу ерда ξ — қаршилиқ коэффициентини; F — заррачанинг ҳаракат йўналишига бўлган текисликка туширилган проекцияси.

Қаршилиқ коэффициентининг қиймати Re нинг сон қийматига кўра аниқланади

агар $Re \leq 2$ бўлганда $\xi = \frac{24}{Re}$;

агар $500 > Re > 2$ бўлганда $\xi = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$;

агар $Re > 500$ бўлганда $\xi = 0,44$.

Шарсимон заррача учун $F = \frac{\pi d^2}{4}$.

Турбулент режим учун қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_k - \rho_m) = \xi F \frac{\rho_k \omega_3^2}{2}$$

G , ξ ва F нинг қийматларини тенгламага қўйгандан сўнг чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\omega_3 = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_k - \rho_m)}{\rho_m}} \quad (7.5)$$

Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги ω' қуйидагича аниқланади:

$$\omega' = \varphi \omega_3, \quad (7.6)$$

бу ерда φ — шакл коэффициенти

Шарсимон заррачалар учун $\varphi = 1$ деб олинади. Шарга ўхшамаган бошқа заррачаларнинг шакл коэффициенти $\varphi < 1$ бўлади. Масалан: думалок заррачалар учун $\varphi = 0,77$; учбурчак шаклдаги заррачалар учун $\varphi = 0,66$; узунчоқ заррачалар учун $\varphi = 0,58$; пластинкасимон заррачалар учун $\varphi = 0,43$.

(7.3), (7.5), (7.6) тенгламалар орқали эркин чўкиш тезлиги, яъни алоҳида олинган заррачанинг суюқлик ёки газ муҳитидаги эркин чўкиши аниқланади.

Ҳақиқий шароитда чўктириш жараёни маълум хажмда, қаттиқ заррачаларнинг концентрациялари катта бўлганда олиб борилади. Бунда сиқилган ҳолатдаги чўкиш юз беради. Сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлиги ω_r эркин чўкиш тезлигидан кичик бўлади, яъни $\omega_r < \omega_3$ чунки сиқилган ҳолатдаги чўкишда умумий қаршилиқ муҳитнинг қаршилиги ва заррачаларнинг бир-бирига ишқаланиши ҳамда урилиши натижасида ҳосил бўлган қаршилиқлар йигиндига тенг бўлади.

Тахминий ҳисоблашлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини (яъни ҳақиқий чўкиш тезлигини) шарсимон заррача назарий чўкиш тезлигининг ярмига тенг деб олинади:

$$\omega_r = 0,5 \omega_3, \quad (7.7)$$

Нотўғри шаклга эга бўлган заррачалар учун ω_3 ни ҳисоблашда d нинг ўрнига d_3 олинади:

$$d_3 = \sqrt{\frac{6V}{\pi}} \quad (7.8)$$

бу ерда d_3 — эквивалент диаметр; V — чўқаётган заррачанинг ҳажми.

Ҳамма режимлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлашда қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re = \frac{Ar \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}}, \quad (7.9)$$

бу ерда $Re = \frac{\omega_r d \rho_m}{\mu}$ — Рейнольдс мезони;

$Ar = \frac{d^3 \rho g (\rho_k - \rho_m)}{\mu^2}$ — Архимед мезони;

$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_p}$ — суюкликнинг суспензиядаги ҳажм жиҳатдан олинган улуши; V_0 — суюкликнинг суспензиядаги ҳажми, m^3 ; V — қаттик заррачаларнинг суспензиядаги ҳажми, m^3 ;

Сиқилган ҳолатдаги заррачанинг чўкиш тезлигини аниқлаш учун аввало Ar ва ε нинг қиймати топилади, сўнгра бу қийматлар (7.9) тенгламага қўйилиб, Re нинг миқдори ҳисобланади. Кейинчалик Рейнольдс мезонидан чўкиш тезлиги аниқланади:

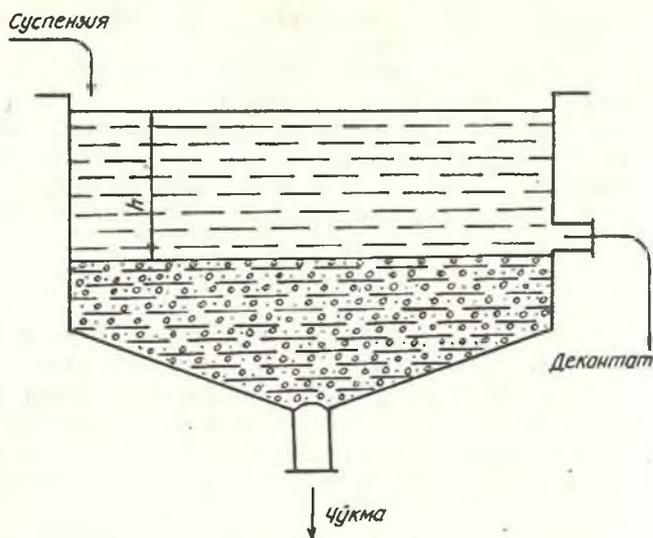
$$\omega_r = \frac{Re \mu}{\rho_m \cdot d} \quad (7.10)$$

(7.3), (7.5) ва (7.10) ифодадан кўриниб турибдики, чўкиш тезлигининг қийматини белгиловчи асосий катталиқлар қаторига муҳитнинг қовушоклиги ва қаттик заррачанинг ўлчами кирди. Чўкиш жараёнини тезлаштириш учун кўпинча суспензиянинг температураси технология томонидан мумкин бўлган даражагача қиздирилади, чунки температуранинг кўтарилиши билан қовушоклик пасаяди, натижада чўкиш жараёни тезлашади. Бундан ташқари, чўкиш жараёнини тезлаштириш учун қаттик заррачаларни коагуляция қилиш ҳоли яхши натижа беради. Заррачаларнинг ўлчамини коагуляция йўли билан катталаштириш учун одатда суспензияга коагулянтлар қўшилади. Суспензияга коагулянтлар қўшилганда молекулаларнинг ўзаро тортишиш кучлари таъсирида майда заррачалар бирлашиб, катта-катта конгломератлар ҳосил қилади, натижада чўкиш тезлиги кўпаяди. Коагулянтлар сифатида бентонитлар, сувда эрувчан элетролитлар, полиакриламид, пектин ва бошқалар ишлатилади.

7.3-§. ЧўҚТИРУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Чўқтириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усулларига нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўқтириш жараёнидан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Чўқтириш жараёни чўқтирувчи ёки қуйилтирувчи қурилмаларда олиб борилади. Чўқтириш қурилмалари даврий, узлуксиз ва ярим узлуксиз режимда ишлатиладиган қурилмаларга бўлинади. Ўз навбатида узлуксиз ишлайдиган чўқтириш қурилмаси бир, икки ва кўп ярусли бўлади. Чўқтириш қурилмаларининг айрим турлари билан танишамиз.

7.5-расмда даврий ишлайдиган чўқтириш қурилмаси кўрсатилган. Бу қурилма конус асосли цилиндрсимон идиш бўлиб, унга аралашма масалан, суспензия юқоридан берилади. Аралашма қурилмада маълум вақт тиндирилгандан сўнг (агар заррачалар зичлиги муҳитнинг зичлигидан катта, яъни $\rho_k > \rho_m$ бўлса) заррачалар қурилманинг пастки қисмига чўқади. Қурилманинг юқори қисмида эса тозаланган ва баландлиги h га тенг бўлган



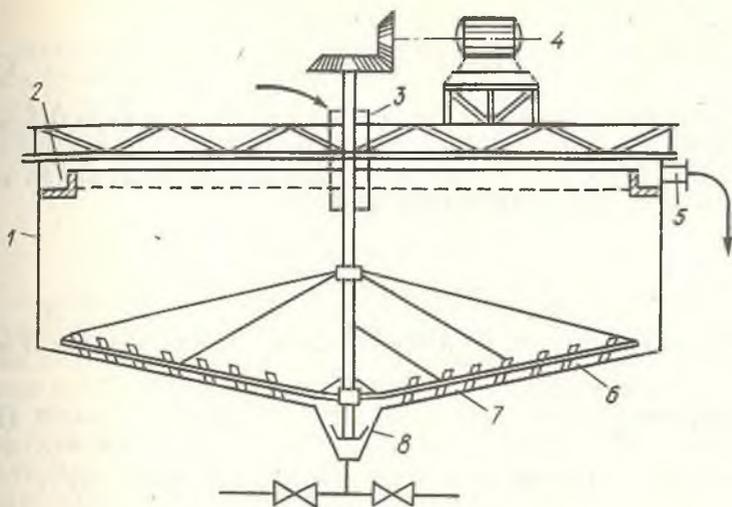
7.5- расм. Даврий ишлайдиган чўктирувчи қурилма.

қатлам ҳосил бўлади. Тозаланган маҳсулот (декантат) қурилманинг ён томонида жойлашган штуцер орқали чиқариб олинади, сўнгра эса чўкма туширилади. Шундан сўнг қурилма ювилади ва жараён қайтадан бошланади.

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

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

7.6- расмда бир ярусли узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи қурилма кўрсатилган. Бу қурилманинг тароқлари бўлиб, суспензияларни тиндириш учун ишлатилади. Ушбу чўктирувчи қурилма баландлиги унча катта бўлмаган, катта диаметрли цилиндрсимон резервуардан иборат бўлиб, конуссимон асосга эга. Ёпик биноларда қурилманинг диаметри 12—20 м га тенг бўлади, очик майдонларда эса унинг диаметри 120 м гача бўлиши мумкин. Дастлабки суспензия резервуарнинг ўрта қисмига берилади. Суспензия таркибидаги каттик заррачалар оғирлик кучи таъсирида чўқади. Резервуарнинг ўртасида вал ўрнатилган бўлиб, унга тароқлар бириктирилган. Ушбу тароқлар чўқаётган заррачаларни (яъни қуйилтирилган суспензияни) узлуксиз равишда тушириш тешиги томон силжитиб туради. Тароқли аралаштиргич жуда



7.6- рasm. Узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи қурилма:

1 — қобик; 2 — халқасимон тарнов; 3 — юклаш воронкаси; 4 — аралаштиргичнинг электродвигатели; 5 — тозаланган маҳсулот чиқадиган штуцер; 6 — тароқлар; 7 — аралаштиргич; 8 — чўкmani туширадиган қурилма.

кичик тезлик (0,02—0,05 айл/мин) билан айланади, шу сабабли аралаштиргичнинг ҳаракати чўкиш жараёнига таъсир қилмайди. Тозаланган суюқлик қурилманинг юқори қисмидаги халқасимон тарнов орқали узлуксиз чиқиб туради. Бундай чўктирувчи қурилманинг асосий камчилиги шундан иборатки чўкманинг таркибида катта микдорда (60 % гача) намлик бўлади.

Кўпчилик ишлаб чиқаришларда катта чўктириш юзаси (сатҳи) керак бўлганлиги сабабли биноларнинг майдонларини тежаш мақсадида кўп ярусли чўктириш қурилмаларидан фойдаланилади.

Чўктириш қурилмаларини ҳисоблаш орқали чўкиш юзаси аниқланади.

Чўктириш натижасида маълум вақт τ давомида қуюқлаштирилган суспензия (шлам) қатлами ва баландлиги h га тенг бўлган тозаланган суюқлик қатлами ҳосил бўлди деб ҳисоблаймиз. Чўктириш юзаси F (м^2) бўлганда олинган тоза суюқлик ҳажми hF (м^3) га тенг бўлади. Вақт бирлиги ичида тозаланган суюқлик ҳажми эса:

$$V = \frac{hF}{\tau}, \text{м}^3/\text{с} \quad (7.11)$$

ω , тезлик билан чўқаётган қаттик заррачалар τ вақт давомида $\omega \tau$ масофани босади. Бу масофа h га тенг. Шунга кўра

$$\omega \tau = h$$

нинг қийматини (7.11) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$V = \frac{\omega_s \tau F}{\tau} = F \omega_s, \quad (7.12)$$

Демак, тенглама (7.12) га мувофиқ, чўктириш қурилмасининг иш унуми чўктириш юзасига тўғри пропорционал бўлиб, қурилманинг баландлигига боғлиқ эмас экан. (7.12) тенгламадан керак бўлган чўктириш юзасини топамиз:

$$F = \frac{V}{\omega_s}.$$

Тозаланган суюқликнинг зичлиги ρ_c бўлса, у ҳолда $V = \frac{G_2}{\rho_c}$,

$$\text{бунда } F = \frac{G_2}{\rho_c \omega_s} \quad (7.13)$$

бу ерда G_2 — тозаланган суюқликнинг миқдори, кг/с;

$$G_2 = G_1 \left(1 - \frac{x_1}{x_2} \right);$$

G_1 — қурилмага берилаётган суспензия миқдори, кг/с, x_1 — суспензиядаги қуруқ моддаларнинг оғирлик жиҳатдан олинган улуши; x_2 — чўкмадаги қуруқ моддаларнинг оғирлик жиҳатидан олинган улуши.

G_2 нинг қийматини (7.13) тенгламага қўйиб қуйидаги ифодани оламиз:

$$F = \frac{G_1}{\rho_c \omega_s} \left(1 - \frac{x_1}{x_2} \right). \quad (7.14)$$

$$\frac{x_1}{x_2} = \beta \text{ десак, у ҳолда } F = \frac{G_1}{\rho_c \omega_s} (1 - \beta). \quad (7.15)$$

(7.14) тенгламани келтириб чиқаришда чўктириш қурилмасидаги суюқлик ҳаракатининг характери эътиборга олинмаган. Бундан ташқари, окимлар қурилманинг ҳамма юзаси бўйлаб бир хил тарқалган деб олинган.

Ҳақиқий қурилмаларда суюқлик ҳаракати режимларининг ўзгариши ва бошқа факторларнинг таъсири натижасида чўкиш жараёни бир хил бормайди. Шу сабабли (7.15) тенглама билан топилган назарий юзани 30—35 % га кўпайтириш керак. Демак, ҳисобланган юза қийматини 1,3 га тенг бўлган тузатиш коэффициентига кўпайтириш керак. Шунга кўра чўктириш юзаси ёки қурилманинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади:

$$F = \frac{1,3G_1}{\rho_c \omega_s} (1 - \beta). \quad (7.16)$$

(7.16) тенгламадаги w_3 катталиқ заррачаларнинг эркин тушиш тезлиги бўлиб, агар сиқилган ҳолатда чуқиш юз бераётган бўлса w_3 ўрнига w_1 ишлатилади.

Чуқтириш қурилмасининг баландлиги одатда ҳисобланмайди ва 2,5; 3,5 м га тенг қилиб олинади.

7.4-§. ФИЛЬТРЛАШ

Суспензия ва чангли газларни филтёр тўсиқлар орқали ўтказиб тозалаш жараёни филтёрлаш дейилади. Филтёр тўсиқлар қаттиқ заррачаларни тутиб қолиб, суюқлик ёки газни ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Филтёр тўсиқлар ёки филтёр сифатида майда тешикли тўрлар, турли газламалар, сочилувчан материаллар (қум, майдаланган кўмир, бентонитлар), керамик буюмлар ишлатилади. Филтёр сифатида пахта, юнг ва синтетик газламалардан тайёрланган материаллардан ҳам фойдаланилади.

Филтёр тўсиқлар бир қатор талабларга мос келиши керак. Энг аввало филтёрловчи материал говаксимон тузилишга эга бўлиб, говакларнинг ўлчами шундай бўлиши керакки, бунда чуқма заррачалари тўсиқнинг устида қолиши керак. Бундан ташқари филтёр муҳит таъсирига кимёвий барқарор, юкори температурага бардошли, механик жиҳатдан пишиқ бўлиши мақсадга мувофиқ бўлади. Филтёр тўсиқнинг устида ҳосил бўлган чуқма ҳам филтёрловчи материал вазифасини бажаради.

Филтёрлаш пайтида қўшимча материаллар ҳам ишлатилиши мумкин. Активланган кўмир, майдаланган асбест, диатомит, перлит ана шулар жумласидандир. Қўшимча материаллар филтёрланиши лозим бўлган суспензияга қўшилади ёки филтёрнинг иш юзаси бундай материаллар билан қатлам ҳосил қилиб копланди. Қўшимча материаллар чуқма билан аралашиб, унинг говаклигини оширади ва гидравлик қаршилигини камайтиради. Бундан ташқари диатомит, перлит, активланган кўмир ва бошқа моддалар адсорбланиш хусусиятига эга, шу сабабдан филтёрдан чиқаётган тайёр маҳсулот анча тозаланган бўлади.

Филтёрлаш пайтида суспензия таркибидаги майда заррачалар филтёрловчи материалнинг устки қисмида чуқма ҳолида ёки филтёрловчи материалнинг ўзида тешиқларини тўлдирган ҳолда ўтириб қолиши мумкин. Бу хусусиятларига кўра филтёрлаш жараёни иккига бўлинади: а) чуқма қатлами ҳосил қилиш йўли билан филтёрлаш; б) филтёрловчи материалнинг тешиқларини тўлдириш орқали филтёрлаш.

Саноатнинг кўп тармоқларида чуқма ҳосил қилиш йўли билан филтёрлаш кенг қўлланилади.

Филтёрлаш жараёнида сиқилувчи ва сиқилмайдиган чуқмалар ҳосил бўлади. Сиқилувчи чуқмалардаги заррачалар босим ортиши билан деформацияга учраб, уларнинг ўлчами кичиклашади. Сиқилмайдиган чуқмаларда босим ортиши билан заррачаларнинг шакли ва ўлчами деярли ўзгармайди.

Филтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинадиган филтратнинг тозаллиги асосан, филтр тўсиқларнинг хусусиятига боғлиқ. Филтр тўсиқларнинг тешиклари катта ва гидравлик қаршилиги кичик бўлиши зарур. Филтр тўсиқлар тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Филтр тўсиқлардан олдинги ва кейинги босимлар фарқи ёки филтрловчи материалга суюқлик босимини ҳосил қилувчи марказдан қочма кучлар филтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи вазифасини бажаради. Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб филтрлаш икки гуруҳга бўлинади: 1) босимлар фарқи таъсирида филтрлаш; 2) марказдан қочма кучлар таъсирида филтрлаш (центрифугалаш).

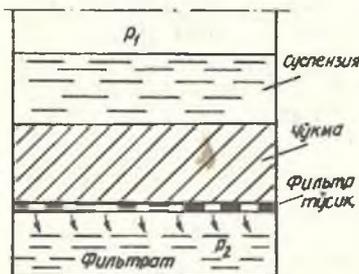
Филтр тўсиқнинг иккала томонидаги босимлар фарқи қуйидаги усуллар билан ҳосил қилиниши мумкин: а) суспензия устунининг массасидан фойдаланиш (ΔP 0,05 мПа гача); б) вакуум ҳосил қилиш (ΔP 0,05—0,09 мПа гача); в) суюқликни насослар ёрдамида ҳайдаш (ΔP 0,5 мПа гача); г) сиқилган ҳаво бериш (ΔP 0,05—0,3 мПа гача).

Саноатда филтрлашдан сўнг қуйидаги қўшимча жараёнлар амалга оширилади: 1) чўкмани ювиш; 2) чўкмани оддий ҳаво (ёки инерт газлар) ёрдамида дудлаш; 3) чўкмани иссиқ ҳаво ёрдамида қуритиш.

7.7- расмда филтрлаш жараёнининг схемаси берилган, бу ерда $P_1 > P_2$, ҳаракатлантирувчи куч босимлар фарқи билан белгиланади: $\Delta P = P_1 - P_2$ (P_1 — суспензиянинг устидаги босим, P_2 — филтр тўсиқдан кейинги босим).

Филтрлаш жараёни уч хил режимда олиб борилади: 1) доимий ўзгармас босимлар фарқи билан филтрлаш ($\Delta P = \text{const}$); 2) доимий филтрлаш тезлиги билан филтрлаш ($dV/dt = \text{const}$); 3) бир вақтнинг ўзида босимлар фарқи ва филтрлаш тезлиги ўзгариб турган ҳолатда филтрлаш.

Ўзгармас босимлар фарқи таъсирида чўкма қатлами ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш энг кўп қўлланилади. Филтрлаш жараёнининг моделини кўриб чиқамиз (7.7- расм). Бу модел бўйича филтр тўсиқ ва чўкманинг ҳамма каналлари (ёки ғовақлари) тенг қийматли бўлиб, филтрат ушбу каналлар бўйлаб ламинар режим билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда филтратнинг каналлар бўйлаб ўтишига бўлган гидравлик қаршилиқни Гаген-Пуазейл тенгламаси ёрдамида аниқлаш мумкин:



$$\Delta P = \frac{32L\mu w}{d^2}, \quad (7.17)$$

7.7- расм. Филтрлаш жараёнининг схемаси.

бу ерда ΔP — босимлар фарқи; L — чўкма ва фильтр тўсик каналларнинг узунлиги; d — ушбу каналларнинг диаметри; ω — фильтратнинг каналлардаги ҳаракат тезлиги; μ — фильтратнинг қовушоқлиги.

Фильтр тўсикнинг юзасини F билан, тўсикдаги ҳамма кўндаланг кесимининг умумий юзасини S билан белгиласак, у ҳолда: $S = aF$ ёки $F = S/a$, бу ерда $a < 1$ — умумий юзага нисбатан уяушни билдиради.

Гаген-Пуазейл тенгламасининг чап ва ўнг томонларини F ва $d\tau$ ларга кўпайтириб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\Delta P F d\tau = \frac{32L\mu\omega}{d^2} \cdot \frac{S}{a} d\tau$$

ёки

$$\Delta P d\tau = \frac{32L\mu}{d^2 a} \cdot \frac{\omega S d\tau}{F},$$

бу ерда $\frac{32L\mu}{d^2 a} = R$ — берилган суспензия учун ўзгармас қийматга эга бўлиб, филтрлаш жараёнининг қаршилигини белгилайди; $\frac{\omega S d\tau}{F} = dV_\phi$ — фильтр тўсикнинг 1 м^2 юзасидан қисқа вақт $d\tau$ давомида йигилган фильтратнинг ҳажмини билдиради.

Бундай ҳолатда филтрлаш тенгламаси қуйидаги кўринишига эга бўлади:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{R}, \quad (7.18)$$

бу ерда $\frac{dV_\phi}{F d\tau} = W$ — филтрлаш тезлиги.

Тажрибалардан маълумки, ҳар бир вақт моментидаги филтрлаш тезлиги босимлар фарқига тўғри пропорционал, суюқлик муҳит қовушоқлигига, чўкма ва фильтр тўсикнинг умумий гидравлик қаршилигига тесқари пропорционалдир. Шу сабабдан (7.18) тенгламани тўлдириб, бошқа кўринишда ёзамиз:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{\mu(P_r + P_{\phi.m})}, \quad (7.19)$$

бу ерда ΔP — босимлар фарқи, Па; P_r — чўкма қатламининг қаршилиги, м^{-1} ; $P_{\phi.m}$ — филтрлаш тўсикнинг қаршилиги, м^{-1} ; μ — суспензиянинг қовушоқлиги, Па·с.

Филтрлаш тезлигини аниқлаш учун (7.19) тенгликни интеграллаб, чўкманинг гидравлик қаршилиги билан олинаётган фильтрат ҳажми орасидаги боғлиқликни билиш лозим. Тенгламани интеграллашда фильтр тўсикларнинг қаршилиги ўзгармас деб олинади, чунки қаттиқ заррачалар филтрнинг тешиқларини тўлдирмайди. Шунинг учун фильтр тўсикларнинг қаршилиги эътиборга олинмайди. Бунда чўкма қатламининг баландлиги ортиб боради. Чўкма гидравлик қаршилигининг қиймати эса нолдан

максимумгача ўзгаради. Шунинг учун тезлик чўкманинг гидравлик қаршилиги ва фильтрат ҳажмига боғлиқ бўлади.

Чўкманинг ҳажмини (V_r) фильтрат ҳажмига (V_ϕ) нисбатини x_0 билан белгилаймиз.

$$\frac{V_r}{V_\phi} = x_0, \text{ бу ерда } V_r = x_0 V_\phi.$$

Чўкманинг ҳажми чўкма қатлами баландлигининг (h_r) фильтрат юзасига (F) кўпайтмасига тенг $h_r F$. Натижада

$$x_0 V_\phi = h_r F.$$

Бу тенгламадан чўкма қатламининг баландлигини топиш мумкин:

$$h_r = x_0 \frac{V_\phi}{F} \quad (7.20)$$

Чўкма қатламининг қаршилиги қуйидагича аниқланади:

$$R_r = r_0 h_r = r_0 x_0 \frac{V_\phi}{F} \quad (7.21)$$

r_0 — чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилиги (1 м қалинликда бўлган чўкма қатламининг фильтрат оқимига кўрсатган қаршилиги), м^{-2} .

(7.21) тенгликдаги R_r нинг қийматини (7.19) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = W = \frac{\Delta P}{\mu(r_0 x_0 \frac{V_\phi}{F} + R_{\phi, m})} \quad (7.22)$$

Бу тенглик фильтрлаш жараёнининг асосий тенграмаси дейилади.

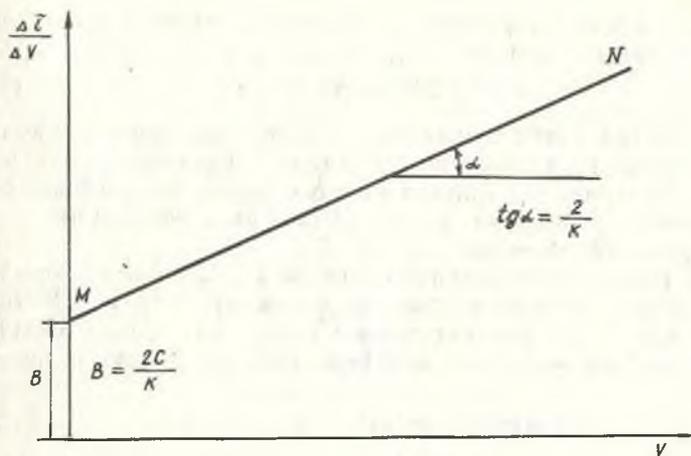
Агар фильтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилиги ҳисобга олинмаса, $R_{\phi, m} = 0$ ва (7.22) тенгламага (7.20) тенгликдаги x_0 нинг қийматини қўйсақ, у холда қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$r_0 = \frac{\Delta P}{\mu h_r W} \quad (7.23)$$

Агар $\mu = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$, $h_r = 1 \text{ м}$, $W = 1 \text{ м} / \text{с}$ бўлса, қовушоқлиги $1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ бўлган суспензия в 1 м қалинликдаги чўкма қатламида фильтрланганда чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштирма қаршилигининг миқдори босимлар фарқига тенг бўлади.

Агар (7.22) тенграмани босимлар фарқи бир хил режимда ишлайдиган $\Delta P = \text{const}$ фильтрлар учун интегралласак, қуйидаги ифодага эришилади:

$$\int_0^V V dV = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 x_0} \int_0^\tau dt, \quad (7.24)$$



7.8-расм. Филтрлаш доимийликларини аниқлашга доир.

$$\frac{V^2}{2} = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 x_0} \tau, \quad (7.25)$$

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta P \tau}{\mu r_0 x_0}}, \quad (7.26)$$

(7.26) тенглама орқали вақт давомида олинган филтратнинг ҳажмини ёки унинг унумдорлигини аниқлаш мумкин. Худди шунингдек, филтрлаш вақтини ҳар қандай режим учун топиш мумкин. Бу тенгламадан кўриниб турибдики, босимлар фарқи бир хил бўлганда филтрлаш вақти қанча кўп бўлса, шунча кўп филтрат олинади.

(7.26) тенгламадаги босимлар фарқи ΔP суспензиянинг қовушоқлиги μ , чўкманинг солиштирма қаршилиги r_0 , чўкма ва филтрат ҳажмининг нисбатлари x_0 фақат тажриба орқали аниқланади. Шу сабабли буларнинг ўзаро боғланиши *филтрлаш доимийлиги* K орқали ифодаланади:

$$K = \frac{2\Delta P}{\mu r_0 x_0} \quad (7.27)$$

Филтрлаш доимийлигини ҳисоблашда босимлар фарқи, чўкманинг таркиби ва суспензияларнинг қовушоқлигини ҳисобга олинади. Худди шунингдек, филтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилигини доимий катталиқ C билан белгилаш мумкин:

$$C = \frac{P_{\text{фм}}}{r_0 x_0} \quad (7.28)$$

Фильтр тўсиқ ва фильтрлаш доимийларининг қийматларини (7.22) тенгламага қўйсақ:

$$V^2 + 2VC = K\tau \quad (7.29)$$

га эга бўламиз. Ушбу тенгламадаги C ва K фильтрлаш жараёнининг доимий катталиклари дейилади. Доимийлик C фильтр тўсиқнинг гидравлик қаршилигини, K доимийлиги эса фильтрлаш жараёнининг режимини ҳамда чўкма ва суюқликнинг физик хоссаларини ифодалайди.

Фильтрлаш доимийликлари тажриба йўли билан топилади. Бунинг учун суспензия доимий босимлар фарқи ΔP билан ажратилади. Фильтратнинг ҳажми V ва вақт τ ўлчаб борилади. Фильтрлаш тенгласини дифференциялаб қуйидаги ифодага эришамиз:

$$2VdV + 2CdV = Kd\tau \quad (7.30)$$

Ушбу тенгламани dV ва K га бўлиб, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{d\tau}{dV} = \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.31)$$

$$\text{ёки } \frac{\Delta\tau}{\Delta V} \approx \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.32)$$

(7.32) тенглама $\Delta\tau/\Delta V$ ва V ўртасида тўғри боғлиқлик борлигини белгилайди. 7.8- расмда тажриба натижалари асосида чизилган MN тўғри чизиги кўрсатилган. Ушбу тўғри чизикнинг қиялик бурчаги қуйидаги қийматга эга: $\operatorname{tg}\alpha = 2/K$. Ордината ўқидаги B кесмаси эса $2C/K$ га тенг бўлади.

7.5- §. ФИЛЬТРНИНГ АСОСИЙ ТУРЛАРИ

Кимё ва озик-овқат саноатида ишлатиладиган фильтрлар тозаланиши керак бўлган муҳитнинг хили, ишлаш принциплари, фильтр тўсиқларнинг турига ва иш босимларнинг миқдорига қараб бир неча турга бўлинади.

Технология максадларига кўра фильтрлаш қурилмалари икки турга бўлинади: 1) суюқликларни ва 2) газларни тозалаш фильтрлари.

Босим остида ишлайдиган фильтрлар бир неча турга, яъни гидростатик босим, насос ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинадиган босим, сийракланиш (вакуум) ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимлар таъсирида ишлайдиган қурилмаларга бўлинади.

Фильтрлаш қурилмалари фильтрловчи тўсиқларнинг хилига қараб донасимон материаллар, ҳар хил газламалар ва қаттик материаллар (масалан, керамик жисмлар, тўрлар) билан ишлайдиган фильтрларга бўлинади.

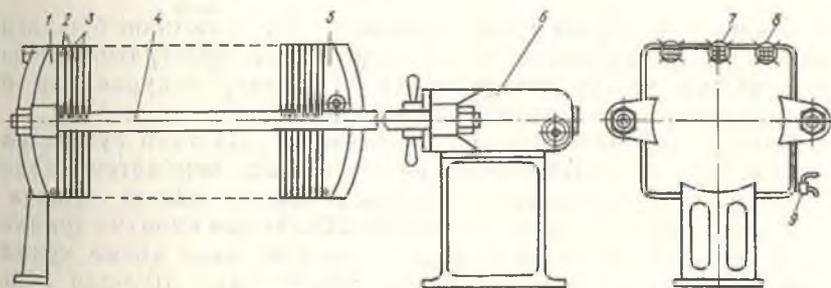
Барча турдаги фильтрловчи қурилмалар филтрлаш юзасининг ҳаракатига қараб икки хил бўлади:

1. Ҳаракатсиз филтрлаш юзасига эга бўлган филтрлар (донасимон тўсикли филтрлар, рамали ва камерали филтр-пресслар ва бошқалар).

2. Ҳаракатли филтрлаш юзасига эга бўлган филтрлар (барабанли вакуум филтрлар, дискли ва лентали филтрлар).

Бундан ташқари филтрлар ишлаш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади. Ҳаракатсиз филтрлар юзасига эга бўлган филтрлар даврий ишлайди. Ҳаракатли филтрлаш юзасига эга бўлган филтрлар эса узлуксиз ишлайди. Қуйида филтрларнинг айримлари билан танишамиз.

Филтр-пресслар. Даврий ишлайдиган рамали филтр-пресслар саноатда кенг қўлланилади, чунки бундай қурилмалар оддий тузилишга эга ва уларни юқори босимда ишлатиш мумкин (одатда 0,3—0,5 мПа). Плитали — рамали филтр-пресснинг типавий тузилиши 7,9- расмда кўрсатилган. Бирин-кетин жойлаштирилган рама 2 ва плита 3 ўртасига филтрловчи газлама (салфетка) жойлаштирилади. Плита ва рамалар одатда чўяндан тайёрланган

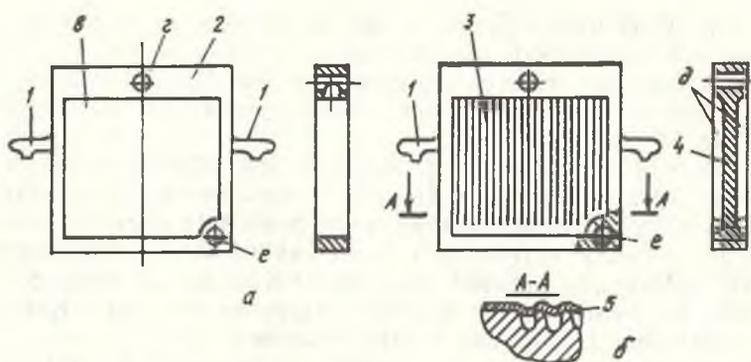


7.9- расм. Рамали филтр-пресс:

1 — таянч плитаси; 2 — рамалар; 3 — плиталар; 4 — таянч стержен; 5 — сиқувчи плита; 6 — гидравлик ёки электромеханик сиқувчи қурилма; 7, 8 — суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони беришга мўлжалланган штуцерлар; 9 — плиталардан филтратни алоҳида чиқариш учун мўлжалланган кранлар.

бўлиб, таянч 1 ва сиқиб турувчи плиталар, иккита таянч стерженлари 4 ва гидравлик (ёки электромеханик) қурилма 6 ёрдамида маҳкам қилиб жойлаштирилади. Суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони бериш учун таянч плита 1 да штуцерлар 7 ва 8 жойлаштирилган.

Филтр-пресснинг рамаси ва плитаси 7.10- расмда кўрсатилган. Раманинг ўртасида бўшлиқ в бор, унинг чеккалари 2 эса силлик юзага эга. Плитада иккита чуқурлик 3 бўлиб, уларнинг ўртасида девор 4 мавжуд; қирралар 3 эса филтрловчи газлама учун таянч вазифасини бажаради. Плита ва рамалар ушлагичлар 1 ёрдамида таянч стерженларига суянади. Плита ва рамаларнинг чеккаларида тешиклар 2 ва 2 мавжуд бўлиб, плиталар сиқилган пайтда каналлар ҳосил бўлади. Бу каналлар орқали суспензия, сиқилган ҳаво ва ювувчи суюқлик юборилади, филтрат эса чиқарилади.



7.10- расм. Фильтр-пресснинг рамаси (а) ва плитаси (б):

а — раманинг бўшлик жойи; г, е — плиталарни сикиш пайтида ҳосил бўладиган каналлар;
 б — плитанинг чуқурлаштирилган бўшлик жойлари; 1 — плата ва рамаларнинг ушлагичи;
 2 — раманинг текис қилиб ишланган қисми; 3 — плата юзасидаги қирралар; 4 — плата
 чуқурликлари ўртасидаги девор; 5 — фильтрловчи газлама.

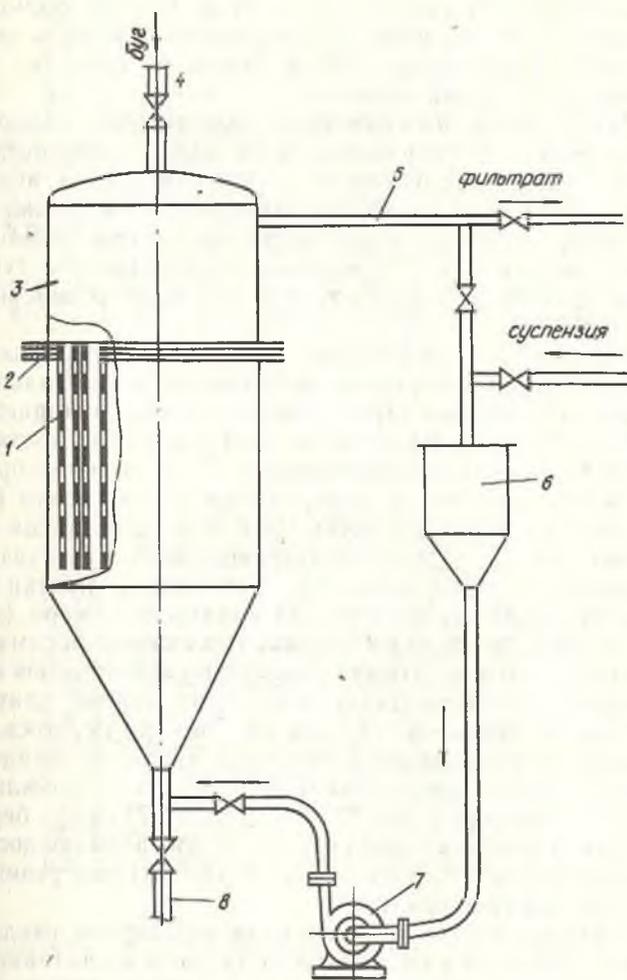
Суспензия ўтиши учун мўлжалланган тешик г раманинг бўшлиги в билан радиал йўналишдаги канал ёрдамида, фильтрлатни йиғиш учун мўлжалланган тешик е эса платадаги чуқурликлар б билан радиал каналлар орқали боғланган.

Фильтр-пресснинг ишлаши қуйидагича. Дастлаб суспензия капалча орқали раманинг ичига кириб, фильтрловчи материалдан ўтади, сўнгра юзасидаги ариқчалар орқали пастга тушади. Фильтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Раманинг икки қисми чўкма билан тўлганда, суспензия бериш тўхтатилади. Шундан сўнг ювиш учун сув берилади. Ювиш жараёни тамом бўлгач кўзгалувчан плата чапга бурилиб, чўкма туширилади. Шундай қилиб, фильтр-пресснинг иш цикли қуйидаги жараёнлардан иборат бўлади: 1) ишга тайёргарлик кўриш; 2) фильтрлаш; 3) чўкмани ювиш; 4) филтрдан чўкмани ажратиш олиш.

Рамали фильтр-пресслар қатор афзалликларга эга: қурилма массасининг бирлигига нисбатан фильтрлашнинг солиштирма юзаси анча катта; ҳаракатланувчи қисмлари йўқ; айрим плиталарни ишлатмасдан қўйиш мумкин. Ҳаракатлантувчи кучнинг қиймати катта бўлганлиги сабабли фильтр фильтрловчи юза бирлигига нисбатан юқори иш унумдорликка эга.

Бундай қурилмалар айрим камчиликлардан ҳоли эмас. Филтрдан чўкмани тушириш анча меҳнат талаб қилади. Агар суспензиядаги суюқлик фазаси енгил учувчан, захарли ёки ўт олувчан хусусиятларга эга бўлса фильтр-прессдан фойдаланиш мумкин эмас. Асосан концентрацияси кам бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

Патронли филтрлар. Бу филтрларда цилиндрсимон корпусдаги махсус металл тўсиққа металл ёки керамик трубалардан



7.11-рasm. Патронли филтър:

1 — патрон; 2 — труба тўсиқлари; 3 — қобик; 4 — буғ қиувчи штуцер;
 5 — филтрат чиқарадиган труба; 6 — суспензия йиғич; 7 — насос; 8 —
 чуқма чиқадиган труба.

тайёрланган, юқори томони очик говаксимон патронлар жойлаштирилади (7.11-рasm). Патронларга филтърловчи газлама (яъни «пайпоқлар») кийдирилади. Филтърга суспензия босим остида (0,2—0,4 мПа) берилади, филтрат патронлардан ўтиб, қурилманинг юқориги қисмига йиғилади ва штуцер орқали қурилмадан чиқарилади.

Майда заррачали суспензияларни ажратиш учун металлокерамик филтърлар ишлатилиб, патронларининг диаметри тахминан 60 мм, узунлиги 700 мм ва деворнинг қалинлиги 3 мм гача бўлади. Патронлар деворининг говаклиги 40 % гача бўлиб, говакларнинг

ўлчами тахминан 6 мкм га тенг бўлади. Бундай фильтрларнинг каттиқ заррачаларни ушлаб қолиш қобилияти 99 % гача етади.

Патронли фильтрлар одатда сиқилган ҳаво ёки сув буги ёрдамида регенерация қилинади.

Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс. Камерали автоматлаштирилган фильтр-пресслар (ФПАК) босим остида даврий ишлайди, асосан суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Бундай қурилмалар оддий фильтр-прессларга ўхшайди, бироқ уларда фильтрлаш учун яхши шароит яратилган, оғирлик кучи ва фильтрат ҳаракатининг йўналиши бир-бирига мос тушади, шу сабабдан суспензия таркибидаги заррачалар гравитацион майдонда чўкади.

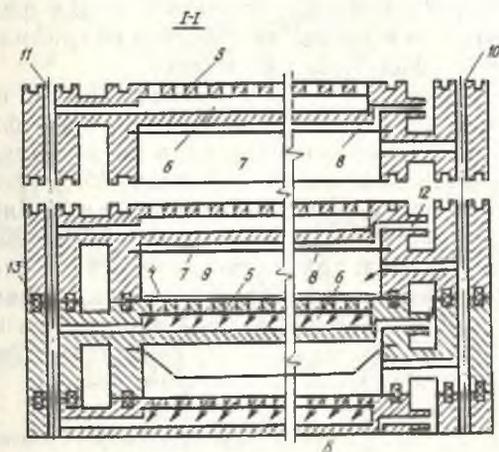
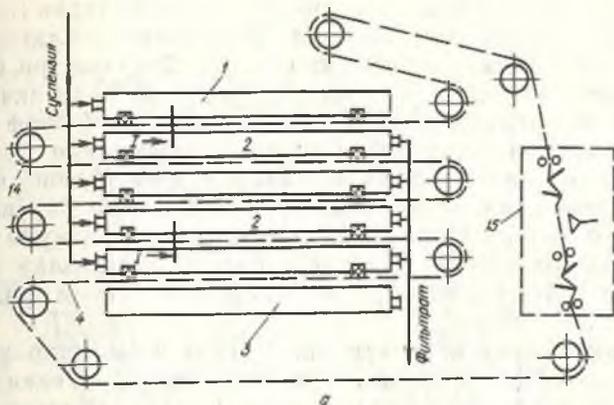
7.12-расмда автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс кўрсатилган. Бундай қурилма горизонтал ҳолда жойлашган, тўғри бурчакли плиталардан таркиб топган бўлади. Юқорисида таянч плитаси (1), ўртада фильтрловчи плиталар (2) ва пастки қисмда сиқилувчи плита (3) жойлаштирилган. Плиталарнинг оралиғидан фильтрловчи газламадан тайёрланган чексиз лента (4) ўтган. Ҳар қайси фильтрловчи плитанинг юқори қисмида панжара (5) бўлиб, унинг тагида фильтратни қабул қилувчи таглик (6) ўрнатилган (7.12-расм, б). Тагликнинг пастки қисмида эластик резинали диафрагма (8) ёрдамида камера (7) ҳосил қилинган. Ушбу диафрагма ёрдамида ва сувнинг босими таъсирида лентанинг устида турган чўкманинг сиқилиши юз беради.

Фильтрни йиғишда бир-бирига тегиб турган плиталарнинг юқориги ва пастки қисмлари иш камералари (9) ҳосил қилади, плиталардаги тешиклар эса бир неча каналлар пайдо қилади: 10- камералар (9)га суспензия бериш учун; 11-тагликлар (6)дан фильтратни чиқариш учун; 12- камералар (7) га сув бериш учун. Иш давомида плиталар оралиғида тегишли зичликни ҳосил қилиш учун плиталар асосларининг периметри бўйлаб резинали прокладкалар жойлаштирилган.

Электродвигател ва тегишли механизмлар ёрдамида сиқувчи плитанинг силжиши натижасида фильтрловчи плиталар юқорига қараб ҳаракатланиши (фильтрнинг ёпилиши) ёки пастга қараб ҳаракатланиши (фильтрнинг очилиши) мумкин. Бу ҳаракатлар тўртта йўналтирувчи ёрдамида амалга оширилади.

Суспензия берилгандан кейин ва фильтр очилгандан сўнг, чексиз лента ҳаракатга келади. Камералар (9) нинг ичида лентанинг устида чўкма қатлами ҳосил бўлади. Лентанинг устидаги чўкма пичок (14) ёрдамида ажратиб олинади ва бункерга юборилади. Ҳаракат давомида лента регенерация камераси 15 дан ўтади, у ерда лента чўкмадан тозаланади ва ювилади. Иккита плита оралиғидан ўтишида лентанинг юзаси қарама-қарши томонга ўзгариб қолади, бу ҳолат лентани тозалашни осонлаштирилади ва самарали ишлашига ёрдам беради.

Фильтрнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат: 1) фильтрни йиғиш (ёпиш); 2) суспензия билан юклаш; 3) фильтрлаш; 4) чўкmani сиқиш; 5) фильтрни очиш; 6) чўкmani тушириш.



7.12- расм. Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс:

а — филтрнинг схемаси; б — камералардаги оқим ҳаракати; 1 — юқориги таянч плитаси; 2 — филтрловчи плита; 3 — настки сиқилувчи плита; 4 — чексиз лента; 5 — панжара; 6 — филтратни қабул қилувчи таглик; 7 — камера; 8 — эластик диафрагма; 9 — иш камералари; 10 — суспензия бериш учун канал; 11 — филтратни узатиш учун канал; 12 — сув юбориш учун канал; 13 — резинали қистирмалар; 14 — пичок; 15 — регенерация камсраси.

Суспензия канал (10) бўйлаб камералар (9) га босим (1,2 мПА) билан юборилади (7.12-расм, б), лента (4) ва панжара (5) орқали филтрланади. Таглик (6) га тушган филтрат ҳар бир плитадан канал (11) га юборилади. Филтрлаш тамом бўлгандан сўнг ҳосил бўлган чўкма диафрагма (8) ёрдамида сиқилади, бунинг учун камера (7) га коллектор (12) орқали босим билан сув юборилади. ФПАК таркибида $10 \div 500 \text{ кг/м}^3$ миқдорида қаттиқ заррачалар тутган ва сиқилувчан чўкмалар ҳосил қилувчи майда дисперсли суспензияларни филтрлаш учун ишлатилади.

Бундай даврий ишлайдиган филтър курилмаларни (патронли филтърлар, филтър-пресслар ва бошқалар) ишлатиш оғир жисмоний кўл меҳнатини талаб қилади. Бундан ташқари, ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 30 % га яқин вақти кетади. Бу филтърларда кўп миқдорда газламалар сарф бўлади.

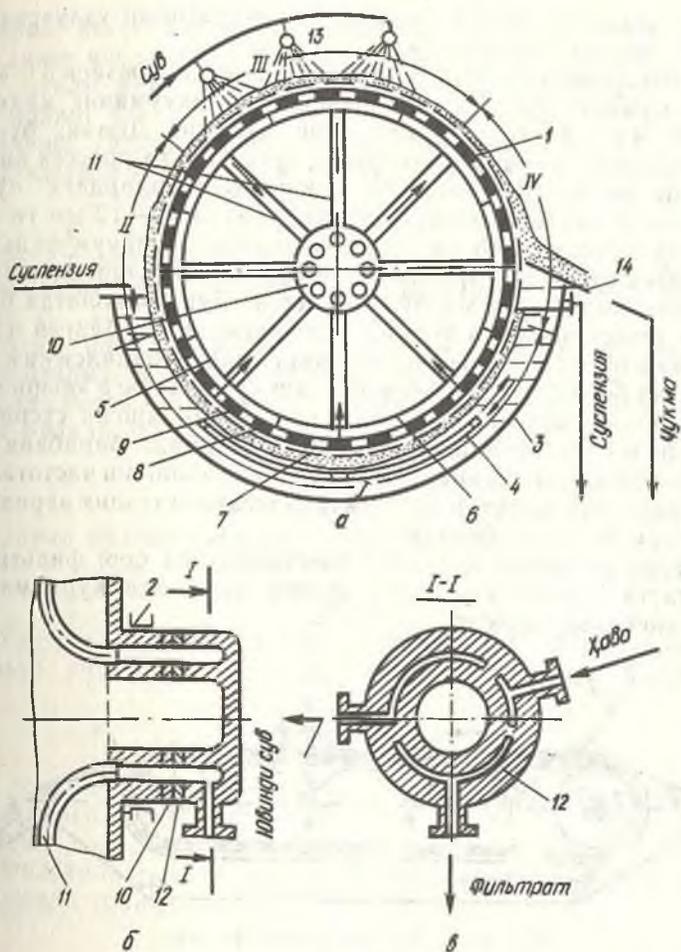
Узлуксиз ишлайдиган филтърлаш курилмалари бу камчиликлардан ҳолидир. Бу курилмаларда филтърлаш, чўкmani қуритиш, ювиш, ажратиб олиш каби жараёнлар бир вақтнинг ўзида олиб борилади. Бундай курилмаларга вакуум остида ишлайдиган барабанли, дискли, лентали филтърлар киради. Саноатнинг кўп тармоқларида барабанли вакуум филтърлар ишлатилади.

Барабанли вакуум-филтърлар. Бундай филтърлар узлуксиз режимда ишлайди. Иш органи — секин айланувчи ва икки деворли цилиндрсимон горизонтал барабандир. Барабанли вакуум-филтърлар бир неча турга бўлинади. Масалан, ташқи филтърловчи юзали, ички филтърловчи юзали, тақсимловчи курилмаси бўлмаган, қуйилтирувчи — филтърлар ва ҳоказо.

7.13- расмда ташқи филтърловчи юзаси бўлган барабанли вакуум-филтърнинг схемаси кўрсатилган. Ушбу филтърнинг барабани (1) ичи бўш цапфалар ёрдамида подшипниклар (2) га ўрнатилган. Барабан юзасининг тахминан 35 % суспензияли тоғора (3) га туширилган бўлади. Тоғорада силкиниб турувчи аралаштиргич (4) суспензия таркибини бир хил бўлишлигини таъминлаб, ундаги қаттиқ заррачаларнинг чўкмага тушишига йўл қўймайди. Барабан иккита цилиндрдан тузилган. Ички цилиндр (5) яхлит бўлиб, ташқи цилиндр (6) эса ғалвирсимон юзага эга, унинг устига металлдан қилинган сим тўр ўрнатилган. Сим тўрнинг устига филтърловчи газлама (7) қопланган.

Цилиндрлар оралиғидаги ҳалқасимон бўшлиқ узунасига ўрнатилган тўсиқлар (8) ёрдамида секторлар (9) га ажратилган. Ҳар бир секциядан цапфадаги шайба (10) томон трубалар (11) ўтказилган. Тақсимлагичнинг кўзголувчан қисмига кўзголмас қисм (12) уланган бўлиб, унинг юзасида бир неча ёйсимон тешиклар бор. Бу тешиклар тақсимлагичнинг айланувчи қисмидаги трубаларнинг тешикларига тўғри келади. Тақсимлагичнинг кўзголувчан ва кўзголмас қисмлари бир-бирига жуда зич ёпишади.

Тақсимлагич кўзголмас қисмининг ташқи юзасида филтрат ва ювинди сувларни узатиш учун, вакуум-линияга уланиш учун ва пуфлаш зонасига сикилган ҳавони бериш учун бир неча штуцерлар бор. Барабаннинг айланишида кўзголмас қисмдаги ҳар бир тешик тақсимлагичнинг кўзголувчан қисмидаги ёйсимон тешиклар билан кетма-кет уланади. Шу сабабдан ҳар бир секторда барабаннинг бир марта айланишида филтърлаш жараёнининг ҳамма босқичлари амалга оширилади: I соҳада вакуумнинг таъсирида филтърловчи газлама орқали филтърлаш жараёни боради, бунда суспензия таркибидаги чўкма филтърловчи газлама устида йигилиб қолади; II соҳада секторга сўрилган ҳаво ёрдамида чўкма



7.13- расм. Барабанли вакуум-филтър:

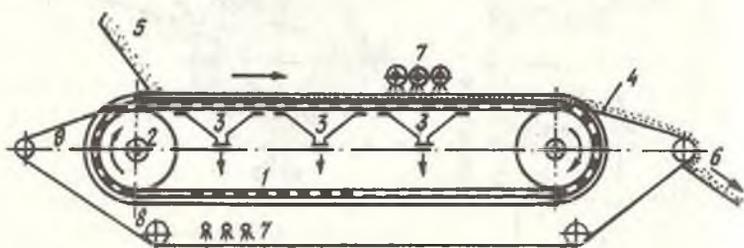
а — филтрининг схемаси; б — бош таксимлагич; в — таксимлагичнинг кесими; 1 — филтрлаш соҳаси; II — чўкмани қуритиш соҳаси; III — чўкмани ювиш соҳаси; IV — чўкмани пуфлаш ва юмшатиш соҳаси; 1 — барабан; 2 — ичи бўш цапфалар; 3 — тогора; 4 — тебранувчи аралаштиргич; 5 — ички цилиндр; 6 — ташқи цилиндр; 7 — филтрончи газлама; 8 — тўсиқлар; 9 — секторлар; 10 — шайба; 11 — трубалар; 12 — таксимлагичнинг қўзғалмас қисми; 13 — форсункалар; 14 — пичок.

қуритилади, бу босқичда чўкма таркибидаги намлик хавога утиб, филтрдан ташқарига чиқарилади; III соҳада чўкма катламининг ювилиши юз беради, бунинг учун чўкма форсункалар (13) орқали берилаётган сув билан ювилади; IV соҳада секторнинг ички қисмига қираётган сиқилган хаво ёрдамида чўкма пуflanади ва юмшатилади. Сўнгра чўкма пичок (14) билан барабандан

ажратиб олинади. Ҳамма соҳалардаги жараёнлар узлуксиз равишда кетма-кет бораверади.

Барабанли вакуум-фильтрларнинг фильтрлаш юзаси $5 \div 40 \text{ м}^2$ бўлиши мумкин. Фильтрлаш зонасидаги вакуумнинг қиймати 400—450 мм симоб устунига тенг бўлади. Демак, бундай қурилмаларнинг ҳаракатлантирувчи кучи фильтр-прессга нисбатан анча паст. Шу сабабли вакуум-фильтрлардаги чўкма қатламининг қалинлиги кичик бўлиб, одатда 10—12 мм га тенг бўлади ва максимум 40 мм га етиши мумкин. Вакуум-фильтрга берилётган суспензия эримайдиган қуруқ моддаларга нисбатан юқори концентрацияга эга бўлиши керак. Бундай ҳолатда барабаннинг ташқи юзасида тегишли қалинликка эга бўлган чўкма тезда ҳосил бўлади. Агар суспензиянинг концентрацияси кам бўлса, дастлаб бундай суспензия чўктириш қурилмасига юборилади. Сўнгра қаттик моддага нисбатан анча қуйиқлашган суспензия вакуум-фильтрга берилади. Вакуум-фильтрнинг барабани бир соатда 6—12 марта айланади. Барабаннинг айланиш частотасини ўзгартириш учун фильтрнинг электродвигатели тезлик вариатори билан таъминланган бўлади.

Бу фильтрларнинг қуйидаги камчиликлари бор: фильтрлаш юзаси катта бўлгани учун катта жойни эгаллайди, қурилманинг баҳоси нисбатан қиммат.



7.14- расм. Лентали вакуум-фильтр:

1 — галвирсимон резинали лента; 2 — барабанлар; 3 — вакуум-камралар; 4 — фильтрловчи газлама; 5 — суспензиянинг берилиши; 6 — чўкmani ажратиб олиш; 7 — чўкmani ювини учун суюқлик бериш; 8 — роликлар.

Лентали вакуум-фильтрлар. 7.14- расмда узлуксиз режимда ишлайдиган лентали вакуум-фильтрнинг чизмаси кўрсатилган. Фильтрловчи юза вазифасини барабанлар (2) ва роликлар (8) га кийдирилган ва газламадан тайёрланган чексиз лента (1) бажаради. Фильтрловчи газлама галвирсимон резинали лента устида силжиб ҳаракат қилади. Резинали лента ҳам барабанлар (2) га кийдирилган бўлади. Вакуум-камралар (3) филтрат ва ювинди сувларни йиғиш учун хизмат қилади. Чўкма лентанинг эгилган жойи (6) дан ажратиб олинади. Лентали вакуум-фильтрлар оддий тузилишга эга; асосий камчилиги — фильтрловчи юзадан қисман фойдаланилади.

Фильтрларни ҳисоблаш. Фильтр қурилмаларни ҳисоблашдан асосий мақсад керак бўлган фильтрлаш юзасини топишдан иборат.

Даврий ишлайдиган филътрларни хисоблаш учун хар бир циклниг иш даврини билиш зарур бўлади. Филътрлашнинг хар бир цикли куйидаги боскичлардан иборат бўлади: 1) филътрлашнинг ўзи; 2) чўкмани ювиш; 3) кўшимча ишлар (чўкмани тушириш, газламани алмаштириш ва хоказо).

Филътрлаш циклининг умумий вакти T (с):

$$T = \tau + \tau_{\text{ю}} + \tau_{\text{к}} \quad (7.33)$$

бу ерда τ — филътрлаш учун кетган вақт, с; $\tau_{\text{ю}}$ — чўкмани ювиш учун кетган вақт, с; $\tau_{\text{к}}$ — кўшимча ишларни бажариш учун кетган вақт, с.

Агар филътрлаш юзасини F (м^2) билан ва филътрнинг солиштирма иш унумдорлигини v ($\text{м}^3/\text{м}^2$) билан белгиласак, у холда битта циклда олинган филътратнинг миқдори $v \cdot F$ (м^3) га тенг бўлади, филътрнинг иш унумдорлиги эса V ($\text{м}^3/\text{соат}$):

$$V = \frac{3600 v F}{T} \quad (7.34)$$

Зарур бўлган филътрлаш юзаси:

$$F = \frac{VT}{3600v} \quad (7.35)$$

Узлуксиз ишлайдиган филътрлар (масалан, барабанли вакуум-филътр) учун филътрлаш циклининг умумий вақт T (с):

$$T = \frac{(\tau + \tau_{\text{ю}}) m}{m_{\phi} + m_{\text{ю}}}, \quad (7.36)$$

бу ерда m — секцияларнинг умумий сони; m_{ϕ} — филътрлаш соҳасидаги секцияларнинг сони; $m_{\text{ю}}$ — ювиш соҳасидаги секцияларнинг сони.

Филътрлаш учун зарур бўлган вақт куйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$\tau = \frac{\mu r_0 h_r^2}{2\Delta P x_0}, \quad (7.37)$$

бу ерда μ — филътратнинг ковушоқлиги, Па·с; r_0 — чўкманинг солиштирма хажмий қаршилиги, м^{-2} ; h_r — чўкманинг қалинлиги, м; ΔP — босимлар фарқи, Па; x_0 — чўкманинг хажмини филътрат хажмига нисбати.

Чўкмани ювиш учун кетган вақт $\tau_{\text{ю}}$ тажриба асосида аниқланади. Секцияларнинг сон қийматлари m , m_{ϕ} , $m_{\text{ю}}$ одатда берилган бўлади ёки тажриба натижалари асосида қабул қилинади.

Барабаннинг бир маротаба айланишида унинг юзасидан олинган филътратнинг хажми V (м^3) куйидаги нисбат асосида топилади:

$$V = \frac{h_r S}{x_0} \quad (7.38)$$

бу ерда S — барабаннинг юзаси, м^2 .

Фильтрлаш вақти τ га асосан барабаннинг суспензияга ботирилиш даражаси аниқланади:

$$\varphi = \frac{\tau}{T}. \quad (7.39)$$

Барабанли вакуум-фильтрнинг фильтрат бўйича иш унумдорлиги ($\text{м}^3/\text{соат}$) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$Q = \frac{3600 \cdot V}{T}. \quad (7.40)$$

7.6-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА КУЧ ТАЪСИРИДА ЧЎКТИРИШ

Огирлик кучи таъсирида чўктириш бир қатор камчиликларга эга: заррачаларнинг чўкиш тезлиги анча кичик ($< 0,5$ м/соат); чўктириш қурилмаларининг ўлчамлари анча катта; майда заррачаларни гравитацион майдонда ажратиб олиш қийинлиги сабабли, бу усулдан одатда турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун фойдаланилади. Аралашма заррачаларининг ўлчами $d_p < 5$ мкм ёки уларнинг зичлиги муҳит зичлигига яқин бўлса, бундай шароитда гравитацион усулдан фойдаланиш жуда кам самара беради. Бундай заррачаларни суспензия ва эмульсия таркибидан самарали ажратиб олиш учун марказдан қочма куч майдонидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади, чунки марказдан қочма кучнинг қиймати огирлик кучига нисбатан бир неча марта катта бўлади.

Марказдан қочма куч майдони ажралиши лозим бўлган оқимнинг айланма ҳаракати натижасида ҳосил бўлади. Марказдан қочма куч майдони гидроциклон, чўктирувчи центрифуга ва сепараторларда ҳосил қилинади.

Аралашманинг айланма ҳаракати таъсирида унинг таркибидagi заррачага марказдан қочма куч таъсир қилади. Бу куч заррачани марказдан қурилманинг чеккаси томон чўкиш тезлигига тенг бўлган тезлик билан улоқтириб ташлайди.

Бунда ҳосил бўлган марказдан қочма кучнинг қиймати C (N ҳисобида) қуйидагича аниқланади:

$$C = mn^2/R = m\omega^2R \quad (7.41)$$

бу ерда m — заррачанинг массаси, кг; ω — заррача айланишининг бурчак тезлиги, с^{-1} ; n — заррача ҳаракатининг айланма тезлиги, айл/с; R — заррача айланишининг радиуси, м.

Марказдан қочма қурилмалардаги чўкиш самарадорлигини аниқлаш учун марказдан қочма куч қийматини заррачага таъсир қилаётган огирлик кучи билан солиштирилади.

Огирлик кучи P (N ҳисобида);

$$P = mg \quad (7.42)$$

g — эркин тушиш тезланиши, $g = 9,81$ м/с².

Иккала тенгламаларни ечиб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\frac{C}{P} = \frac{m\omega^2 R}{mg} = \frac{\omega^2 R}{g} = K_a \quad (7.43)$$

бу ерда $K_a = \frac{\omega^2 R}{g}$ — ажратиш фактори.

Ажратиш фактори марказдан қочма куч таъсири оғирлик кучи таъсиридан неча мартаба кучли эканлигини билдиради. Ажратиш факторининг қиймати қанча катта бўлса, марказдан қочма қурилмаларнинг ажратиш қобилияти шунча юқори бўлади.

Маълум бурчак тезлиги билан ҳаракат қилаётган центрифуга ва сепараторлар барабанлари учун (7.43) ифодага $\omega = \frac{\pi n}{30}$ ни қўйиб ва $n^2 \approx g$ деб олиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$K_a = \frac{n^2 R}{900} \quad (7.44)$$

(7.44) тенгламадан кўриниб турибдики, марказдан қочма қурилмаларда ажратиш факторини ошириш учун айланиш частотасини ёки айланиш радиусини кўпайтириш керак. Тенгламадаги айланиш частотаси иккинчи даражали бўлганлиги учун юқори ажратиш факторига эга центрифуга ва сепараторлар барабанларини ҳисоблашда айланиш частотасининг сон қиймати кўпайтирилади, бундай ҳолатда барабаннинг диаметри кичик қилиб тайёрланади.

Заррачага таъсир қилаётган марказдан қочма куч оғирлик кучига нисбатан $K_a = \frac{\omega^2 R}{g}$ мартаба катталиги ҳисобга олинса, марказдан қочма қурилмалардаги заррачанинг чўкиш тезлиги чўктирувчи қурилмалардаги чўкиш тезлигига нисбатан $\omega^2 R/g$ мартаба катта бўлади.

Марказдан қочма қурилмаларда ламинар режим учун чўкиш тезлигини ажратиш фактори ҳисобга олинган ҳолатда Сток тенгламаси ёрдамида топилади:

$$\omega_r = \frac{d^2 g (\rho_k - \rho_m) \omega^2 R}{18 \mu g} = \frac{d^2 \omega^2 R (\rho_k - \rho_m)}{18 \mu} \quad (7.45)$$

Турбулент ва оралик режимлар учун чўкиш тезлигини қуйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{d}{\xi} \cdot \frac{\rho_k - \rho_m}{\rho_m}} \omega^2 R, \quad (7.46)$$

бу ерда ξ мухитнинг қаршилик коэффициентини, бу коэффициентнинг қиймати заррачанинг ҳаракат режимига боғлиқ бўлади.

Юқорида келтирилган тенгламалардан кўриниб турибдики, марказда қочма кучлар майдонидаги чўкиш процессида ажратиш

фактори ва чўкиш тезлиги ўзгариб туради, чунки улар айланиш радиусига яъни марказдан заррача турган жойгача бўлган масофага боғлиқ бўлади. Бу масофа эса жараён давомида ўзгариб туради. Марказдан қочма кучлар майдонида қаттиқ заррача кетма-кет учала режим бўйлаб (хусусий ҳолатда эса иккита режим ёки батта режим бўйича) чўкиши мумкин. Шу сабабдан заррачанинг чўкиш вақти ҳам турлича аниқланиши зарур. Чўкиш тезлиги ўзгарувчан қиймат бўлганлиги сабабли вақт қуйидагича топилади:

$$\tau = \int_R^0 \frac{dR}{\omega_r} \quad (7.47)$$

бу ерда ω_r нинг ўрнига тегишли режимлар (ламинар, оралик, турбулент) учун келтирилган тенгламалар бўйича аниқланган чўкиш тезлигининг қиймати қўйилади.

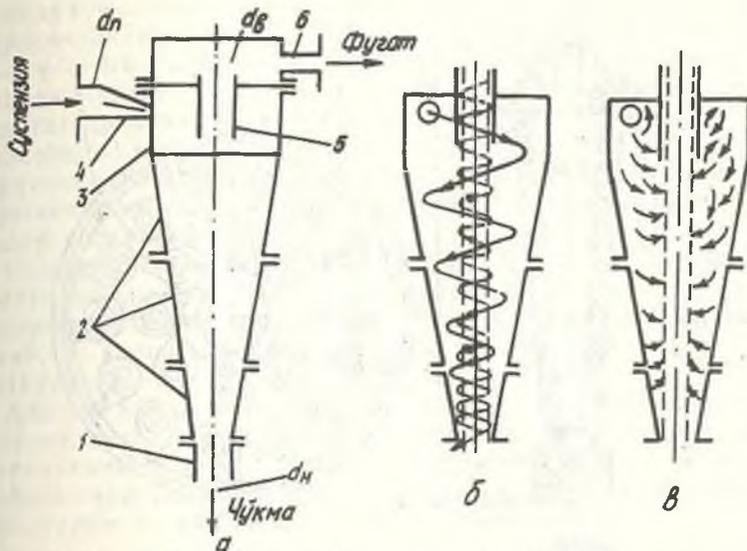
Суспензия таркибидаги қаттиқ заррачаларни марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш учун гидроциклонлар, чўктирувчи центрифугалар ва сепараторлар ишлатилади.

7.7-§. ГИДРОЦИКЛОНЛАР

Гидроциклон цилиндрсимон қобикка эга бўлиб, унинг диаметри 8 мм дан 700 мм гача бўлади, аппаратнинг пастки қисми эса 10—20° бурчак билан конуссимон қилиб тайёрланади. Гидроциклонларнинг конструкцияси анча оддий бўлишлигидан ташқари, уларда юз берадиган жараёнлар анчагина мураккаб гидродинамик ҳолат билан белгиланади.

7.15- расмда гидроциклоннинг чизмаси кўрсатилган. Суспензия босим билан (0,2—0,3 мПа ва ундан кўп) қурилмага тангенциал йўналиш билан патрубок (4) орқали берилади (7.15- расм, а). Суспензия қурилманинг цилиндрсимон юзаси (3) ёнида винтсимон йўналишда пастга қараб спиралсимон ҳаракат қилади. Суюқлик оқими билан биргаликда қаттиқ заррачалар ҳам пастга қараб ҳаракат қилади, бунда заррачалар марказдан қочма куч таъсирида қурилманинг конуссимон юзаси (2) томон улоқтирилади. Қуйиклаштирилган маҳсулот (чўкма) пастки штуцер (1) орқали қурилмадан ташқарига чиқарилади. Гидроциклоннинг ўқи атрофида четдаги оқимларнинг винтсимон ҳаракати таъсирида тиндирилган суюқликнинг юқорига йўналган тесқари қисми пайдо бўлади (7.15- расм, б). Юқорига спиралсимон ҳаракат қилаётган суюқликнинг оқими пунктир чизик билан белгиланган. Тиндирилган суюқликнинг ушбу оқими патрубоклар (5) ва (6) орқали қурилишдан ташқарига чиқарилади.

7.15- расм, в дан кўриниб турибдики, девор ёнидаги ўқли тезликлар пастга йўналган бўлса, ўқ яқинида эса юқорига йўналган бўлади. Радиал тезликларнинг қиймати четдан марказга томон қатталашиб боради. Агар суспензия гидроциклонга юқори босим билан берилса, катта айланма ҳаракат тезликлари таъсирида суюқлик жадаллик билан четга улоқтирилади, марказ-



7.15- расм. Гидроциклон (а) ва ундаги оқим (б ва в) чизмаси:

1 — пастки (чўкма тушадиган) патрубок; 2 — қурилманинг конуссимон қисми; 3 — қурилманинг цилиндрсимон қисми; 4 — суспензия бериладиган патрубок; 5 — юқориги (тиндирилган суюқлик чиқадиган) патрубок; б — тиндирилган суюқлик оқиб чиқадиган патрубок.

да эса суюқликдан холи бўлган канал пайдо бўлади. Натижада марказий каналда вакуум ҳосил бўлади, бундай шароитда ушбу канал суюқликда эриган газлар билан тўлади.

Гидроциклонларнинг нормал ишлаши учун юқориги ва пастки патрубоклар диаметрларининг нисбати катта аҳамиятга эга. Агар $\frac{d_b}{d_n} = 1,33 \div 1,66$ бўлса, бундай нисбат энг мақбул ҳисобланади.

Гидроциклонлар одатда таркибида заррачаларнинг ўлчами 10—150 мкм бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Бундай аппаратлардан бекарор эмульсияларни ажратиш учун ҳам фойдаланиш мумкин.

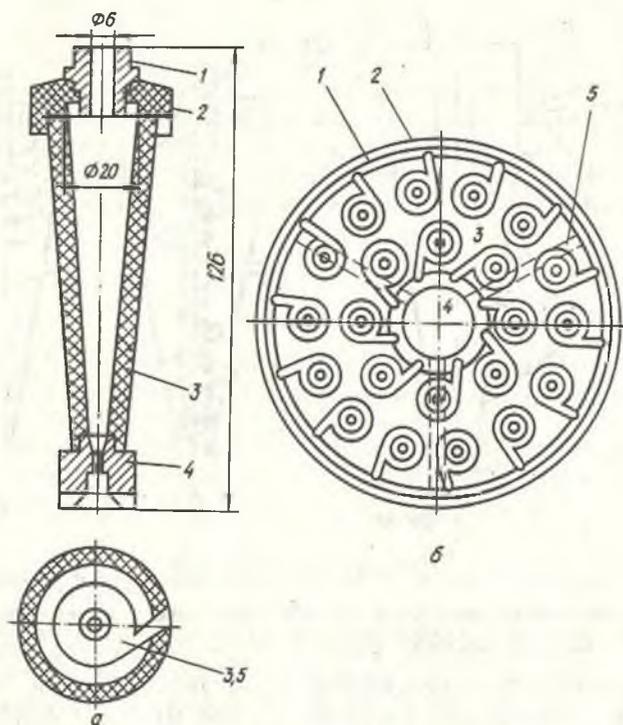
Гидроциклондаги чўкиш даражаси қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\varphi = \frac{G_{кч}}{G_{кс}} \cdot 100, \quad (7.48)$$

бу ерда $G_{кч}$ — каттиқ фазанинг 1 м³ суюқ фазага нисбатан олинган чўкмадаги массавий миқдори; $G_{кс}$ — каттиқ фазанинг 1 м³ суюқ фазага нисбатан олинган суспензиядаги миқдори.

Гидроциклоннинг иш унумдорлиги сув кўмган тешиктан суюқликнинг оқиб чиқиш сарф тенграмасига асосан қуйидаги ифода орқали аниқланиши мумкин:

$$V = \alpha \frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_m g}}, \quad (7.49)$$



7.16- расм. Мультигидроциклонлар:

a — циклоннинг алоҳида олинган элементи: 1 — втулка; 2 — копқоқ;
 3 — қобик; 4 — пойнак; *b* — батареяли мультигидроциклоннинг схемаси:
 1 — резинали блок; 2 — металл қобик; 3 — мультигидроциклонлар; 4 —
 суспензия бериладиган марказий труба; 5 — радиал каналлар.

бу ерда α — сарф коэффициенти; ΔP — гидроциклондаги босим фарқи (суспензиянинг кириш тезлиги ёки тиндирилган суюқликнинг чиқиш тезлигига нисбатан олинади; ρ_m — суюқлик муҳитнинг зичлиги; d_n — суспензия кирадиган патрубокнинг диаметри.

Ҳисоблаш ишларида суюқлик кирадиган патрубокнинг диаметри $d_n = (0,14 \div 0,3) D$, тиндирилган суюқлик чиқадиган патрубокнинг диаметрини $d_c = (0,2 \div 0,167) D$ деб олинади. Конус бурчагини классификациялаш учун мулжалланган гидроциклонлар учун 20° , суспензияларни қуйиқлаштириш ва тиндириш учун мосланган гидроциклонлар учун эса $10\text{—}15^\circ$ қилиб олинади. Гидроциклонларнинг диаметри кўзланган макссадларга кўра ўзгаради: $D = 300 \div 350$ мм — классификациялаш учун; $D = 100$ мм — суспензияларни қуйиқлаштириш учун.

Гидроциклонлар бир қатор афзалликларга эга: узлуксиз режимда ишлайди; тузилиши жуда оддий; нархи арзон; ҳаракат қиладиган қисмлари йўқ; ихчам тузилганлиги оқибатида кам жой эгаллайди; юкори ажратиш даражасини таъминлайди.

Агар кучли марказдан қочма куч таъсири керак бўлган пайтда гидроциклоннинг диаметри жуда кичик қилиб олинади (масалан, $D = 5 \div 20$ мм). Бундай қурималар *мультигидроциклонлар* деб аталади. Бундай циклонлардан биттаси 7.16- расмда кўрсатилган. Мультигидроциклоннинг қобиги (3) ва қопқоғи (2) эбонитдан, втулкаси (1) ва пойнак (4) эса латундан тайёрланган. Тегишли ажратиш даражасига эришиш учун диаметри 5—20 мм бўлган мультигидроциклонларнинг 40—80 донаси бирлаштирилиб, бата-реялар ҳосил қилинади.

Гидроциклонларнинг янги конструкцияси — центриклонлар ҳам таклиф қилинган. Центриклоннинг цилиндрсимон қисмига эса электродвигатель ёрдамида айланадиган ротор-паррак ўрнатилган бўлиб, у кучли марказдан қочма кучлар майдонини юзага келтиради.

Ҳозирги кунда гидроциклонлар кўмир ва рудаларни бойитиш фабрикаларида, кристалларни ажратиб олишда, целлюлоза-қоғоз, катализаторлар, крахмал, қанд ишлаб чиқаришда, қаттиқ фазага нисбатан ҳар хил концентрацияларга эга турли суспензияларни қуйилтириш ва ажратишда кенг қўлланилмоқда.

7.8-§. ЦЕНТРИФУГАЛАР

Эмульсиядаги суюқлик томчиларини ва суспензиядаги қаттиқ модда заррачаларини марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш жараёни *центрифугалаш* дейилади. Центрифугалаш жараёни центрифугаларда амалга оширилади.

Центрифугалашда ҳосил бўлган марказдан қочма кучлар чўктириш жараёнидаги оғирлик кучи ва филтрлашдаги гидростатик кучларга нисбатан кўпроқ таъсир қилади. Шунинг учун турли жинсли системаларни ажратиш учун ишлатиладиган чўктириш ва филтрлаш жараёнларига нисбатан центрифугалаш жараёни жуда самарали ҳисобланади.

Центрифугаларнинг асосий қисми горизонтал ёки вертикал ўққа жойлашган катта тезликда айланувчи барабан бўлиб, у электр двигатель ёрдамида айланма ҳаракатга келтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суспензиядаги қаттиқ модда заррачалари чўкмага тушиб, суюқ фазадан ажралади. Суюқ фаза ф у г а т дейилади. Ҳосил бўлган чўкма барабан ичида қолиб, суюқ фаза эса ажратиб олинади.

Турли жинсли аралашмаларни ажратиш принципига кўра центрифугалар уч турга бўлинади: 1) филтрловчи центрифугалар; 2) чўктирувчи центрифугалар; 3) тарелкали сепараторлар.

Ажратиш коэффициентига кўра ҳамма центрифугалар икки гуруҳга бўлинади.

1. *Нормал центрифугалар* ($K_n \leq 3600$). Бундай центрифугалар суспензиялардан катта, ўртача ва майдароқ заррачаларни ажратиш учун ишлатилади.

2. *Ута центрифугалар* ($K_n > 3600$). Бундай центрифугалар майда заррачали суспензияларни ва эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади.

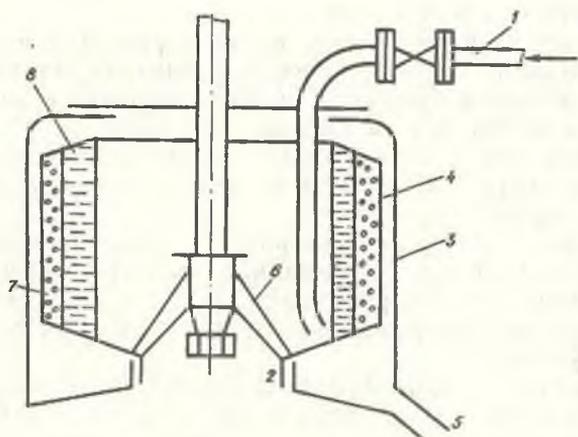
Фильтрловчи центрифугаларнинг барабани говаксимон турли металллардан ишланиб, унинг юзасига материал (мато) копланди. Фильтрловчи центрифугаларда суспензия ёки эмульсия марказдан қочма куч таъсирида барабан деворларига қараб отилади, бунда қаттиқ модда заррачалари фильтр материалларнинг юза қисмида қолиб, суюқ фаза (фугат) бу куч таъсирида чўкма қатлами ва фильтр тўсиқлардан ўтади ҳамда барабандан узлуксиз чиқариб турилади.

Чўктирувчи центрифугаларда барабан яхлит металл пластинкалардан қилинади. Бу центрифугаларда босимлар фарқи марказдан қочма куч таъсирида ҳосил қилинади. Барабан айланиши натижасида марказдан қочма куч таъсирида суспензия ёки эмульсия барабан деворлари томон ҳаракатланади. Зичлиги катта бўлган суюқлик ва қаттиқ фазалар барабан деворлари яқинида, зичлиги камроқ бўлган бошқа фаза эса ўк атрофида йиғилади.

Тарелкали сепараторлар узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи ўта центрифугалар қаторига киради. Бундай центрифугаларнинг вертикал ротори бўлиб, суюқлик бир неча тарелкаларга тарқалади ва заррачаларнинг чўқиши ламинар режимда амалга оширилади. Тарелкали сепараторлар эмульсияларни ажратиш ва суюқликларни тиндириш учун ишлатилади.

Иш режимига кўра центрифугалар даврий ва узлуксиз бўлади. Барабан валининг ўрнатилиши ҳолатига қараб *горизонтал* ва *вертикал центрифугалар* бўлади. Даврий ишлайдиган центрифугаларда чўкма қўл ёрдамида, гравитацион куч (ёки оғирлик кучи) ва пичоқ билан туширилади. Узлуксиз ишлайдиган центрифугаларда чўкма шнек ёрдамида, инерцион ва пульсацион кучлар таъсирида туширилади.

Центрифугаларнинг айрим турларини кўриб чиқамиз.

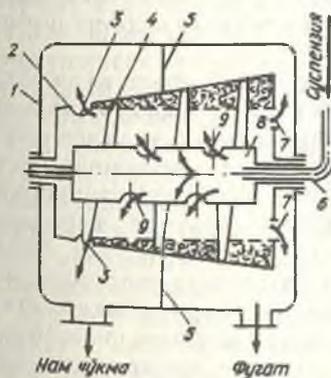


7.17- расм. Чўктирувчи центрифуга чизмаси:

- 1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чўкма тушириладиган тешик;
3 — қобик; 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — конус;
7 — зичлиги катта бўлган компонент; 8 — зичлиги кичик бўлган компонент.

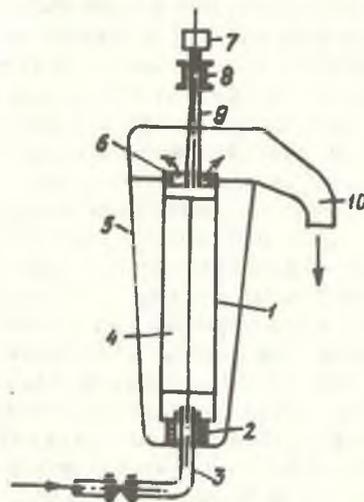
Чўктирувчи центрифугалар. Бундай центрифугалар таркибида 40 % гача (ҳажм бўйича) каттик фаза тутган ва заррачаларнинг ўлчами 5 дан 100 мкм гача бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. 7.17- расмда энг оддий чўктирувчи центрифуганинг схемаси кўрсатилган. Центрифуганинг барабани (4) яхлит бўлиб, кобик (3) ичида жойлаштирилган. Турли жинсли система барабанга труба (1) орқали берилади. Барабаннинг айланишида марказдан куч таъсирида зичлиги каттароқ бўлган компонент (7) барабаннинг чети яқинидаги ҳажми эгаллайди, зичлиги камроқ бўлган компонент (8) эса айланиш ўқиға яқинроқ жойда йиғилади. Тиндирилган суюқлик (фугат) труба (5) орқали ташқарига чиқарилади. Чўкма қатлами амалий жиҳатдан барабани тўлдиргандан сўнг қурилма тўхтатилади, конус (6) юқорига кўтарилади, сўнгра чўкма тешик (2) орқали туширилади. Бундай центрифуга даврий ишлайди. Центрифуганинг барабани электр двигателъ ёрдамида айлантирилади.

7.18- расмда узлуксиз ишлайдиган центрифуга (НОГШ) нинг чизмаси кўрсатилган. Ушбу центрифугада чўкма шнек ёрдамида ташқарига чиқарилади. Центрифуга кобик (1) ичида турли айланма тезлик билан айланувчи иккита барабандан таркиб топган. Цилиндрсимон барабан (8) да суспензиянинг чиқиши учун тешиклар (9) бор. Ушбу барабаннинг ичида шнек (4) бўлиб, чўкмани конуссимон барабан (2) нинг юзаси бўйлаб силжитиб



7.18- расм. Узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи центрифуга:

1 — кобик; 2 — конуссимон барабан; 3 — туширувчи тешиклар; 4 — шнек; 5 — тўсиқ; 6 — труба; 7 — фугат чиқадиган тешик.



7.19- расм. Трубали ўта центрифуга:

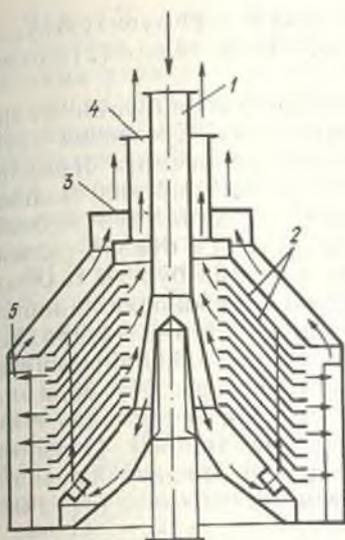
1 — ротор; 2 — пойнак; 3 — суспензия бериш учун труба; 4 — радиал паррақлар; 5 — кобик; 6 — тешиклар; 7 — шкив; 8 — таянч; 9 — шпиндель; 10 — тиндирилган суюқлик чиқадиган труба.

туради. Ажратилиши лозим бўлган суспензия труба (6) орқали цилиндрсимон барабаннинг ички қисмига киради ва тешиклар (9) орқали конуссимон барабаннинг ички бўшлиғига ўтади. Марказдан қочма куч таъсирида чўкма конуссимон барабаннинг четки юзасига улоқтирилади ва секин айланувчи шнек ёрдамида туширувчи тешиклар (3) томонга силжитилади. Тиндирилган суюқлик тешик (7) орқали ташқарига чиқарилади. Тўсиқ (5) эса ҳосил бўлган фракцияларни бир-бирига қўшилиб кетишига йўл бермайди. Бундай центрифугалар қаттиқ фазанинг концентрацияси катта бўлган майда дисперсли суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

Трубали ўта центрифуганинг чизмаси 7.19-расмда кўрсатилган. Бундай центрифугалар қаттиқ фаза бўйича концентрацияси кичик бўлган суспензияларни ҳамда эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади. Роторнинг айланиш тезлиги 45000 айл/мин гача етиши мумкин, ажратиш фактори $K_a = 15000$. Қобик (5) нинг ичида яхлит деворли ротор (1) жойлаштирилган. Роторнинг ичида радиал паррақлар (4) мавжуд, улар ротор айланганда суюқликнинг орқада қолишига тўсқинлик қилади. Роторнинг юқори қисми конуссимон шпиндель билан қаттиқ бириктирилган. Ушбу шпиндель таянч (8) да осилиб туради ва шкив (7) ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Роторнинг пастки қисмида эластик йўналтирувчи пойнак (2) жойлаштирилган. Бу пойнак орқали суспензия бериладиган труба (3) га ўтади. Роторнинг ичида суспензия юқorigа қараб ҳаракатланганда, унинг деворларида қаттиқ заррачалар ўтириб қолади. Яхши ажратиш учун трубали центрифуга роторининг баландлиги унинг диаметридан бир неча марта катта бўлиши керак. Тиндирилган суюқлик тешик (6) дан ўтиб, қурилмадан труба (10) орқали ташқарига чиқарилади. Маълум вақт ўтгандан сўнгра центрифуга тўхтатилади ва роторда йиғилган чўкма туширилади.

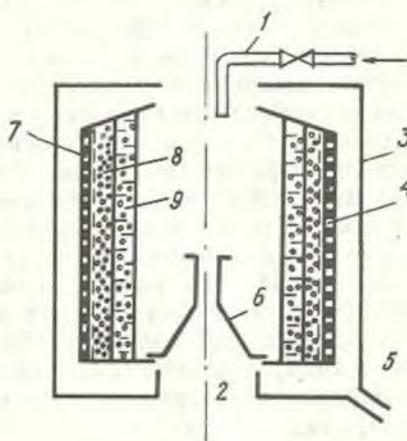
Тарелкали сепараторлар ҳам ишлаш принципига кўра чўктирувчи центрифугаларга ўхшайди. 7.20-расмда суюқликлар ажратишга мўлжалланган тарелкали сепараторнинг чизмаси кўрсатилган. Эмульсия марказий труба (1) орқали роторнинг пастки қисмига юборилади, сўнгра тарелкалардаги тешиклар орқали уларнинг оралиқларида юпка қатлам ҳолатида тарқалади. Оғирроқ бўлган суюқлик тарелкалар (2) нинг юзаси бўйлаб ҳаракатланиб, марказдан қочма куч таъсирида роторнинг чети томон улоқтирилади ва тешик (3) орқали ташқарига чиқиб кетади. Енгилроқ бўлган суюқлик роторнинг маркази томон силжийди ва ҳалқасимон канал (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Суюқликнинг айланувчи ротордан орқада қолмаслиги учун ротор кирралар (5) билан таъминланган.

Фильтрловчи центрифугалар. Бундай центрифугалар намлиги кам бўлган чўкмалар олиниши ва уларни ювиш зарур бўлган пайтда ишлатилади. Фильтрловчи центрифугаларда катта тезлик билан айланувчи барабаннинг ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг усти майда тешикли материал билан қопланган бўлади.



7.20- расм Тарелкали сепаратор:

1 — эмульсия берадиган труба; 2 — тарелкалар; 3 — зичлиги катта бўлган суюқликни чиқариш учун тешик; 4 — зичлиги кичик бўлган суюқликни чиқариш учун халқали канал; 5 — кирралар.



7.21- расм. Фильтрловчи центрифуганинг схемаси:

1 — суспензиянинг берилиши; 2 — чўкmani туширадиган тешик; 3 — кобик; 4 — барабан; 5 — Фугатнинг чиқарилиши; 6 — корпус; 7 — фильтрловчи материал; 8 — чўкма; 9 — суспензия.

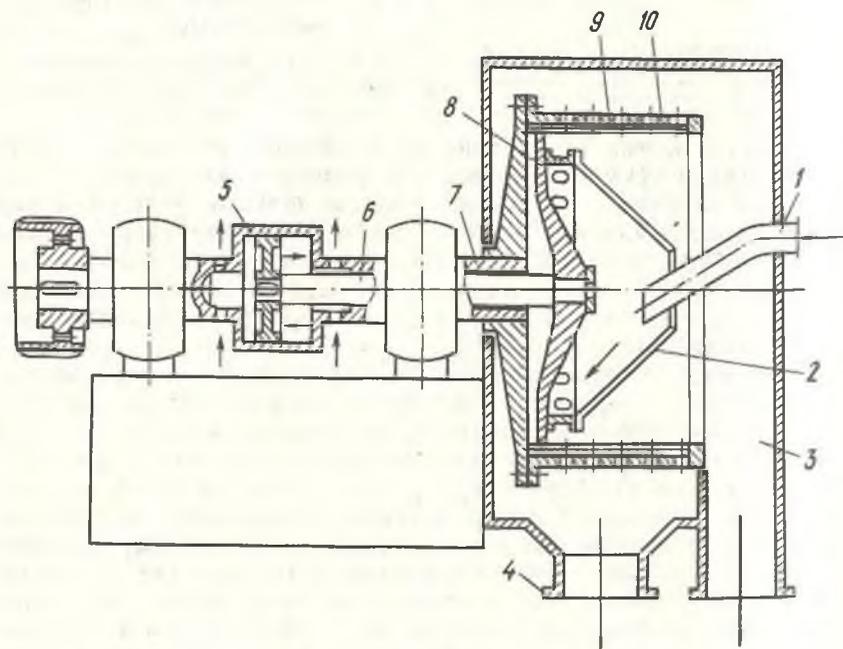
Марказдан қочма қуч таъсирида суспензиядаги қаттиқ модда заррачалари чўкмага тушиб, суюқ фазадан ажралади.

Кимё сапоатида даврий ишлайдиган ФМБ ва ФМД типдаги центрифугалар кенг қўлланилади. Бундай центрифугалар таркибида 1 дан 60% гача ва ўлчами 10 мкм дан катта бўлган заррачаларни ушлаган суспензияларни ажратишда ишлатилади. Айниқса кичик ҳажмли ($V < 5 \text{ м}^3/\text{соат}$) ишлаб чиқаришларда фойдаланиш яхши самара беради.

7.21- расмда фильтрловчи центрифуганинг чизмаси кўрсатилган. Бу центрифуга барабандан ёки ротордан иборат. Барабан қобик (3) нинг ичига жойлаштирилган. Барабан ички юзаси катта тешикли түр ва унинг устки юзаси майда тешикли материал (7) билан қопланган. Труба (1) орқали барабанга турли жинсли суспензия берилади. Барабан электродвигатель ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Барабан ичидаги суспензия (9) айланма ҳаракат қилганда унга марказдан қочма қуч таъсир этади. Бунга суюқ фазادا гидростатик босим ҳосил бўлади. Бу босим центрифугада фильтрлашнинг ҳаракатлантирувчи қучи ҳисобланади. Бу қуч таъсирида суюқ фаза фильтр тўсиқлар устида ҳосил бўлган чўкма (8) дан ўтиб тозаланади. Фильтрловчи центрифугада борувчи жараён учта физик жараёнлар йиғиндисидан иборат: чўкма ҳосил қилиш билан фильтрлаш, чўкманинг зичланиши, чўкмадан суюқликни чиқариш. Фильтрат (фугат) қурилмадан патрубок (5) орқали чиқарилади. Ажратишдан сўнг чўкма сув

билан ювилади. Барча жараёнлар тугагач центрифуга тўхтатилади, конус (6) юқорига кўтарилади ва чўкма тешик (2) орқали туширилади.

Чўкмани тушириш учун пульсацияли поршени бўлган центрифуганинг чизмаси 7.22- расмда кўрсатилган. Суспензия труба (1) орқали конуссимон воронка (2) нинг тор қисмига берилади. Воронка тешиклари бўлган ротор (10) билан бир хил тезликда айланади. Роторнинг ички юзаси тирқишли металл тўр (9) билан қопланган. Суспензия воронканинг ички юзаси бўйлаб силжиб, аста-секин роторнинг айланиш тезлигига яқин бўлган тезлики эгаллайди. Сўнгра суспензия воронкадаги тешик орқали поршен (8) нинг олди қисмидаги тўрнинг ички юзасига улоқтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суюқ фаза тўрнинг тирқишлари орқали ўтиб, центрифуга қобиғидан штуцер (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Қаттиқ фаза тўрнинг устида чўкма ҳолатида ушлаб қолинади. Поршен ўнг томонга (тахминан роторнинг 1/10 узунлиги) ҳаракатланганда чўкма даврий равишда роторнинг четига сурилади. Чўкма қурилмадан канал (3) орқали туширилади.



7.22- расм. Чўкмани тушириш учун пульсацияли поршени бўлган центрифуга:

1 — суспензияни бериш учун труба; 2 — конуссимон воронка; 3 — чўкмани тушириш учун канал; 4 — фугатни чиқариш учун штуцер; 5 — қайтарма-илгариларга силжийдиган диск; 6 — шток; 7 — ички бўш вал; 8 — поршени; 9 — металлдан қилинган тирқишли тўр; 10 — тешиклари бўлган ротор.

Вал (7) нинг ичида жойлашган шток (6) да поршен ўрнатилган. Вал электр двигателга уланган бўлиб, роторга айланма ҳаракат беради. Ичи бўш вал ротор билан, шток эса поршен ва конуссимон воронка билан бир хил тезликда айланади. Поршеннинг қайтарма — илгарилама ҳаракатининг йўналиши автоматик равишда ўзгартирилади. Штокнинг бошқа томонига ўққа перпендикуляр қилиб диск (5) кийдирилган. Дискнинг қарама-қарши юзасига тишли насос ёрдамида ҳосил қилинаётган ёғнинг босими таъсир қилиб туради.

ФГП типдаги бундай центрифугалар ҳажмий концентрацияси 20 % дан кам бўлмаган, заррачалари ўлчами 100 мкм дан катта бўлган ва осон ажраладиган суспензияларни қайта ишлаш учун қўлланилади.

Пульсация усули билан чўкма туширадиган ФГП типдаги ва саноатда ишлатиладиган центрифугалар қуйидагича иш унумдорликка эга. 1000—1500 кг/соат (ФГП — 400), 1500—3000 кг/соат (ФГП — 600) ва 3000—6000 кг/соат (ФГП — 800). Бундай қурилмалардан олинаётган тиндирилган суюқликнинг таркибида 0 дан 15 % гача каттик фаза бўлиши мумкин.

Центрифугаларни ҳисоблаш. Центрифугаларда юзага чиқади-ган марказдан қочма куч C (N ҳисобида) қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$G = Mn^2R = M\omega^2R \approx 40Mn^2R \approx 20Mn^2D \quad (7.50)$$

бу ерда M — центрифуга барабани ичида жойлашган чўкма ва суюқликнинг массаси, кг; ω — бурчак тенглиги, s^{-1} ; $D=2R$ — барабаннинг диаметри, м; R — барабаннинг радиуси, м; n — центрифуганинг айланиш частотаси, s^{-1} .

Центрифугалаш пайтидаги филтрлашнинг босими (P_a ҳисобида) тахминан:

$$\Delta P_a = \frac{G}{F} \quad (7.51)$$

бу ерда G — (7.50) тенглама бўйича аниқланган марказдан қочма куч, Н; $F = \pi DH$ — ўртача филтрлаш юзаси, m^2 ; D — барабаннинг баландлиги ёки филтрлаш зонасининг узунлиги, м.

ΔP_a нинг қийматини аниқроқ қилиб қуйидаги тенглама билан ҳисоблаш мумкин:

$$\Delta P_a = 20\rho_c n^2 (R_2^2 - R_1^2) = 5\rho_c n^2 (D_2^2 - D_1^2), \quad (7.52)$$

бу ерда ρ_c — суспензиянинг зичлиги, kg/m^3 ; $D_1 = 2R_1$ — суюқлик ички қатламининг диаметри, м; $D_2 = 2R_2$ — барабаннинг ички диаметри, м.

Центрифугалаш пайтидаги филтрлаш тезлиги умумий гидравлика қонунига асосан қуйидаги тенглама орқали ифодаланadi:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\Delta P_a}{R_a}, \quad (7.53)$$

бу ерда ΔP_u — центрифугалаш пайтидаги босим фарки; $R_u = R_r + R_{фт}$ — центрифугалаш пайтидаги умумий қаршилиқ; R_r — чўкманинг қаршилиги; $R_{фт}$ — фильтрловчи тўсиқнинг қаршилиги.

Центрифуга барабанининг айланишида ҳосил бўлган воронканинг чуқурлигини h (м ҳисобида) тахминан қуйидаги тенглама билан аниқласа бўлади:

$$h = 2n^2 R^2. \quad (7.54)$$

Чўкмаси пичок билан олинадиган АОГ типидagi чўктирувчи центрифуганинг иш унумдорлиги V_u (m^3/c) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$V_u = 25,3 \eta L n^2 R_0^2 \omega, k, \quad (7.55)$$

бу ерда L — барабанининг узунлиги, м; R_0 — суспензия халқасимон қатламнинг ички радиуси, м; ω , — заррачанинг чўкиш тезлиги;

η — центрифуганинг ҳақиқий ва назарий иш унумдорликларининг нисбатини ҳисобга олувчи коэффициент ($\eta = 0,4 \div 0,5$);

k — суспензияни бериш вақтини (яъни асли центрифуглаш вақтини) центрифуганинг умумий ишлаш вақтига нисбати.

Заррачанинг чўкиш тезлиги ω , Стокс тенгламаси (7.3) бўйича аниқланади. Чўкмаси шнек ёрдамида туширилиб, узлуксиз ишлайдиган НОГШ типидagi чўктирувчи горизонтал центрифуганинг суспензия бўйича иш унумдорлиги V_u ($m^3/соат$) ни қуйидаги тенглама ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$V_u = \frac{3,5 [D_u^2 L_u (\rho - \rho_m) d^2 n^2]}{\mu}. \quad (7.56)$$

бу ерда D_u ва L_u — фугат оқиб чиқадиган цилиндрнинг диаметри ва узунлиги, м; ρ — заррачанинг зичлиги, $кг/м^3$; ρ_m — мухитнинг зичлиги, $кг/м^3$; d — чўкаётган энг кичик заррачаларнинг диаметри, м; n — роторнинг айланиш частотаси, $айл/мин$; μ — мухитнинг динамик ковушоқлик коэффициенти, Па·с.

Даврий ишлайдиган центрифугаларнинг ишга тушириш пайтидаги қувватининг сарфи қуйидаги тенгламалар ёрдамида ҳисобланади.

Барабанининг ишга тушириш пайтидаги инерциясини енгиш учун сарфланган ишнинг қиймати T_1 (Ж ҳисобида):

$$T_1 = \frac{\omega^2 M_6}{2} \quad (7.57)$$

бу ерда ω — тегишли айланиш частотасига етган пайтдаги барабанининг тургун айланиш тезлиги (барабанининг радиуси R_2 бўлган ташқи юзаси бўйича), $м/с$; M_6 — барабанининг массаси, $кг$.

Центрифугани ишга тушириш пайтидаги юклаш инерциясини енгиш учун сарф бўлган иш T_2 (Ж ҳисобида):

$$T_2 = \frac{0,75 \omega_1^2 \rho V}{4} \quad (7.58)$$

бу ерда ω_1 — барабаниннг ички радиус R_1 буйича айланиш тезлиги, м/с; ρ — юкланган материалнинг зичлиги, кг/м³; V — центрифуга барабаниннг тўла ҳажми, $V = \pi R_1^2 H$, м³.

T_2 ни ҳисоблаш пайтида юкланган материалнинг ҳажмини барабан умумий ҳажмининг ярмига тенг деб олинади. Ишга тушириш пайтида барабан ва юклаш инерциясини енгиш учун сарф бўлган қувват N_1 (Вт ҳисобида):

$$N_1 = \frac{T_1 + T_2}{\tau}, \quad (7.59)$$

бу ерда τ — ишга тушириш даврининг давомлилиги, с (тажрибаларга асосан $\tau = 1 \div 3$ мин).

Подшипниклардаги валининг ишқаланишини енгиш учун сарфланган қувват N_2 (Вт ҳисобида):

$$N_2 = \lambda M \omega_{\text{в}} g, \quad (7.60)$$

бу ерда λ — ишқаланиш коэффициенти ($\lambda = 0,07 \div 0,1$ — халқали мойланадиган оддий подшипниклар учун, $\lambda = 0,03$ — шарикли подшипниклар учун); M — центрифуга ҳамма айланувчи қисмларининг (юкланган материал билан биргаликда) массаси, кг; $\omega_{\text{в}}$ — цапфа валининг айланиш тезлиги, м/с.

Барабан деворининг ҳаво билан ишқаланишини енгиш учун сарфланган қувват N_3 (Вт ҳисобида):

$$N_3 = 2,94 \cdot 10^3 \beta R_2^2 \omega_2^3 \rho_x, \quad (7.61)$$

бу ерда ρ_x — ҳавонинг зичлиги, кг/м³; β — қаршилик коэффициенти ($\beta = 2,3$).

Даврий ишлайдиган центрифуганиннг ишга тушириш пайтидаги қувватнинг тўла сарфи N_{τ} (Вт ҳисобида):

$$N_{\tau} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (7.62)$$

Ўтказиш қурилмасининг фойдали иш коэффициенти $\eta_{\text{ф}}$ ҳисобга олингандаги қувватнинг тўла сарфи:

$$N = \frac{N_{\tau}}{\eta_{\text{ф}}}. \quad (7.63)$$

Центрифугалар электр двигателларини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватнинг сарфи аниқланганда 10—20 % запас олинади.

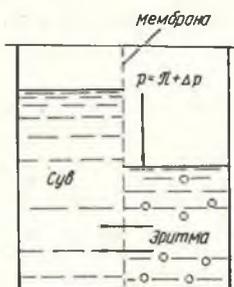
7.9-§. УЛЬТРАФИЛЬТРАЛАШ

Ультрафилтрлашнинг асосий мазмуни эритмаларни ярим ўтказувчан мембраналар орқали босим билан ўтказишдан иборат. Махсус тайёрланган (масалан, целлюлоза ацетати ёки полиэтилентерефталат пленкалари асосида) говакли мембраналар қуйида-

ги талабларга жавоб бериши керак: а) аралашма компонентларининг айримларини танлаб ўтказиш, қолганларини эса ўтказмаслик; 2) юқори ажратиш қийматиغا эга бўлиш; 3) механик чидамлилиқ; 4) солиштирма иш унумдорлиги катта; 5) ишлатиш жараёнида техникавий характеристикаларининг ўзгармаслиги; 6) ажратилаётган муҳит таъсирига қаршилиқ кўрсата билиш; 7) таркибида захарли моддалар бўлмаслиги; 8) нархи арзон.

Ультрафилтрлашнинг моҳиятини қуйидагича тушунтириш мумкин. Мембрана ғовақларининг ўлчами эритувчи молекулаларнинг ўтиши учун анча катта, эриган моддаларнинг ўтиши учун эса жуда кичик.

Ультрафилтрлаш ва тескари осмос тушунчалари ўртасида амалий жиҳатдан олганда фарқ жуда кам. Агар ультрафилтрлаш юқори молекулали моддалар (молекуляр массаси ≥ 500) ни қуйиклаштириш ва бир вақтнинг ўзида уларни кичик молекулали моддалардан тозалаш усули ҳисобланса, тескари осмос эса берилган эритмани қуйиклаштириш ёки тоза эритувчини эритмадан ажратиб олиш усулини ташкил этади.



7.23- расм. Тескари осмос процессининг схемаси:

π — осмотик босим; ΔP — ҳосил қилинаётган босимлар фарқи.

Тескари осмоснинг схемаси 7.23- расмда кўрсатилган. Ушбу жараённинг мақсади сувли эритмани қуйиклаштиришдан иборат. P_1 босимнинг таъсирида бўлган эритувчи (сув) нинг ўз-ўзидан эритмага мембрана орқали ўтиши осмотик босим π нинг қиймати P_1 га тенглашганда ($P_1 \approx \pi$) тўхтайтиди. Ортикча босим ($P = \pi + \Delta P$) ташкил этилса, тескари жараён — эритувчини мембрана орқали эритмадан қайта ўтиши юз беради. Бундай жараён *тескари осмос* деб аталади.

Эритма осмотик босимнинг қиймати π (Π а ҳисобида) унинг температураси ва концентрациясига тўғри пропорционал ва эриган компонент молекуляр массасига тескари пропорционалдир:

$$\pi = \frac{IRTx}{M}, \quad (7.64)$$

- бу ерда $i = 1 + \alpha$ — Вант-Гофф коэффиценти; α — эриган модданинги диссоциланиш даражаси; R — газ доимийлиги; T — эритманинги температураси, К; x — эриган модданинги концентрацияси, $\text{кг}/\text{м}^3$; M — эриган модданинги молли массаси, $\text{кг}/\text{моль}$.

(7.64) ифода *Вант-Гофф тенгламаси* деб юритилади. Ҳисоблашлардан маълумки, турли моддалар эритмалари учун осмотик босимнинг қиймати жуда катта оралиқда ўзгаради. Демак, кичик молекулали моддалар эритмаларини ажратиш учун катта осмотик босим таъсирини енгил зарур, ультрафилтрлаш жараёни учун ($M \geq 500$) осмотик босимнинг қиймати одатда $0,3 \div 1$ МПа га тенг бўлади.

Мембраналарнинг танлаш қобилияти φ (% ҳисобида) қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\varphi = \frac{x_1 - x_2}{x_1} 100 = \left(1 - \frac{x_2}{x_1} \right) 100, \quad (7.65)$$

бу ерда x_1 — эриган модданинг дастлабки аралашмадаги концентрацияси, %; x_2 — эриган модданинг филтратдаги концентрацияси, %.

Мембранадаги говакларнинг ўртача диаметри $d_{\text{ўр}}$ (м ҳисобида) ни Пуазейл қонунига асосан қуйидаги тенглама ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$d_{\text{ўр}} = \sqrt[3]{\frac{32V\mu b}{\beta F \Delta P}}, \quad (7.66)$$

бу ерда V — филтратнинг сарфи, м³/с; μ — суюқлик қовушоқлигининг динамик коэффициент, Па·с; b — мембрана говакларининг қалинлиги, м; β — мембрананинг говаклиги; F — 1 м² майдондаги говакларнинг юзаси, м²; ΔP — босимлар фарқи, Па.

Мембрананинг умумий говаклари β (% ҳисобида) зичликларнинг қиймати орқали топилади:

$$\beta = \frac{\rho - \rho_1}{\rho} 100, \quad (7.67)$$

бу ерда ρ — мембрана материалнинг зичлиги, кг/м³; ρ_1 — мембрананинг (говаклари билан биргаликдаги) зичлиги, кг/м³.

Говакликнинг қиймати ҳамда говакларнинг шакли ва ўлчами мембрананинг ўтказувчанлик қобилиятига (яъни иш унумдорлигига) таъсир қилади. Мембрананинг иш унумдорлиги (ёки филтрлаш тезлиги) мембрана иш юзаси бирлигидан вақт бирлиги ичида олинган филтратнинг ҳажмини ифодалайди:

$$W = \frac{V}{F\tau}, \quad (7.68)$$

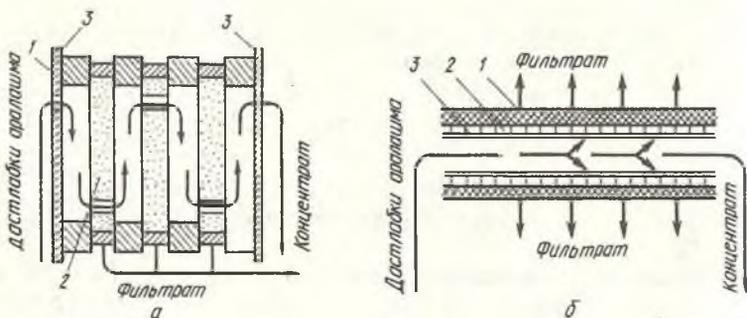
бу ерда W — филтрлаш тезлиги, м³/(м²·с); филтратнинг ҳажми, м³; F — мембрананинг иш юзаси, м²; τ — жараённинг давомийлиги, с.

Дарси қонунига асосан мембрананинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$W = \frac{\Delta P}{h_r \cdot r}, \quad (7.69)$$

бу ерда ΔP — филтратдаги босим фарқи; h_r — чўкма қатламининг баландлиги; r — узунлик бирлигига нисбатан олинган чўкма қатламининг қаршилиги.

7.24- расмда мембранали филтрловчи элементларнинг ишлаш схемаси кўрсатилган. Текис камерали қурилмада (7.24- расм,



7.24- расм. Мембранали филтрлаш элементларининг ишлаш схемаси:

а — тесис камерали қурилма; 1 — мембраналар; 2 — говакли аппарат; 3 — фланецлар; б — трубаги қурилма; 1 — тешиқлари бўлган труба; 2 — говаксимон материал; 3 — мембрана.

а) филтрловчи элемент говакли материал (2) нинг икки томонидан ўрин олган мембраналар (1) дан ташкил топган. Филтрловчи элементларнинг пакети иккита фланецлар (3) ёрдамида сиқилиб, болтлар билан маҳкамланган. Ажратилиши лозим бўлган эритма кетма-кет ҳамма филтрловчи элементлардан ўтиб, концентрацияси кўпайган ҳолатда қурилмадан чиқиб кетади. Мембранадан ўтган филтрат говакли материал қатлами орқали йиғинчга юборилади.

Трубаги филтрловчи элемент (7.24- расм, б) мембрана (3) тешиқлари бўлган труба (1) ва говакли материал (2) дан тузилган. Бундай элементлар цилиндрсимон қобикнинг ичига жойлаштирилади.

Ультрафилтрлаш ва тескари осмос усуллари истиқболли ҳисобланади, чунки бир қатор афзалликларга эга. Мембранали қурилмаларнинг тузилиши оддий. Филтрлаш жараёни оддий температурада олиб борилади. Иктисодий жиҳатдан анча тесамли.

Мембраналар ёрдамида ажратиш жараёни фазавий ўзгаришларсиз олиб борилади, шу сабабдан энергия асосан эритмани мембрана орқали босим билан ўтказишга сарфланади. Мембранали филтрлашга кетган энергия сарфи ажратишнинг бошқа усуллариغا нисбатан анча кам. Масалан, денгиз сувини тескари осмос усули билан чуқурлаштириш учун тахминан 7 кВт·соат/м³ энергия кетса, бундай сувни хайдаш усули билан чуқурлаштирилганда тахминан 80 кВт·соат/м³ энергия сарфланади).

Яқин келажакда ультрафилтрлаш ва тескари осмос усуллари-дан кенг фойдаланиш суюқлик аралашмаларини ажратиш, қуюқлаштириш ва тозалаш ҳамда табиий сув хавзаларини муҳофаза қилиш муаммоларини ҳал этишда муҳим аҳамияга эга бўлиши мумкин.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 7.1. Турли жинсли системаларнинг турлари. Техникада бундай системаларни қандай усуллар ёрдамида ажратиш мумкин?
- 7.2. Ламинар ва турбулент режимларда қаттиқ заррачанинг эркин чўкиш тезлиги қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 7.3. Эркин ва сиқилган ҳолатдаги чўкиш ўртасида қандай фарқ бор? Сиқилган ҳолатдаги заррачанинг тезлигини қайси усул билан аниқлаш мумкин?
- 7.4. Саноатда чўктирувчи қурилмаларнинг ишлатилиши. Чўктириш қурилмаларини ҳисоблаш қайси тартибда олиб борилади?
- 7.5. Фильтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи нимадан иборат? Фильтрлашнинг асосий тенгламаси. Доимий коэффициентларни қандай қилиб аниқлаш мумкин?
- 7.6. Фильтр-пресснинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
- 7.7. Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресснинг тузилиши. Қурилманинг ишлаш тартиби қандай?
- 7.8. Барабанли вакуум-фильтрнинг ишлаш принципи. Унинг афзаллиги нимада?
- 7.9. Фильтрловчи қурилмаларни ҳисоблашнинг асосий принциплари.
- 7.10. Марказдан қочма куч майдонида чўкишнинг асосий моҳияти. Ажратиш коэффициентининг физик маъноси нимадан иборат?
- 7.11. Гидроциклонларнинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг иш унумдорлигини қайси тенглама орқали ҳисоблаш мумкин?
- 7.12. Гидроциклон, мультигидроциклон ва центрициклонлар ўртасида қандай фарқ бор? Уларнинг умумий томонлари нималардан иборат?
- 7.13. Центрифугаларнинг турлари. Чўктирувчи ва фильтрловчи центрифуганинг ишлаш принципига қандай фарқ бор?
- 7.14. НОГШ типидagi ва трубали центрифуганинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчиликлари.
- 7.15. Тарелкали сепараторнинг тузилиши. Бундай сепараторлар ишлаш принципига кўра қайси турдаги центрифугаларга ўхшайди?
- 7.16. Пульсацяли поршени бўлган центрифуганинг схемаси. Бундай қурилмаларнинг иш унумдорлиги қайси ҳесараларда ўзгариши мумкин?
- 7.17. Центрифугаларда ҳосил бўладиган марказдан қочма куч ва босимнинг қийматларини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 7.18. Даврий ишлайдиган центрифугаларни ишга тушириш пайтида сарф бўладиган қувватни қандай қилиб аниқласа бўлади?
- 7.19. Ультрафильтрлаш жараёнининг моҳияти нимадан иборат? Мембрана говақларининг ўлчамини аниқлаш мумкинми?
- 7.20. Мембранали фильтрловчи элементларнинг ишлаш принциплари. Ультрафильтрлаш усулининг истикболи нималардан иборат?
- 7.21. Суюқлик турли жинсли системаларни ажратиш жараёнини қандай қилиб тезлаштириш мумкин?

8-БОБ. ГАЗЛАРНИ ЧАНГДАН ТОЗАЛАШ

8.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кимё саноатида бир қатор газсимон турли жинсли системалар (чанглар, тутунлар, туманлар) ҳосил бўлади. Донадор материалларни янчиш, аралаштириш, узатиш, қуритиш жараёнида заррачаларнинг ўлчами $3 \div 70$ мкм атрофида бўлган чанглар пайдо бўлади. Ёқилгини ёқиш пайтида тутун, бугни конденслашда эса туман ҳосил бўлади. Тутун ва туманлар таркибидаги қаттиқ ва суюқлик шаклидаги заррачаларнинг ўлчами $0,3 \div 5$ мкм га тенг бўлади.

Технология жараёнларини тўғри амалга ошириш учун саноат газлари ва ҳаво чангдан тозаланиши зарур. Аралаштиргичлар, диспергаторлар, кўпчилик модда алмашиниш қурилмалари, қатор кимёвий қурилмалар газ тозалашнинг эффектив схемаларисиз яхши ишлай олмайди. Шундай қилиб, кимё саноати корхоналаридан чиқаётган газ аралашмаларини тозалаш технология жиҳатидан муҳим ва катта аҳамиятга эга.

Газлар: 1) газ аралашмаларидан қимматбаҳо маҳсулотларни ажратиб олиш; 2) жараён кетиши пайтида унга салбий таъсир қилувчи ва қурилма бузилишини тезлаштирувчи моддаларни газ аралашмаларидан чиқариб ташлаш ва 3) атроф-муҳит ҳавосининг ифлосланишини камайтириш учун тозаланади.

Саноатда ишлаб чиқарилган газ аралашмаларини тозалаш учун қуйидаги усуллардан фойдаланилади: 1) оғирлик кучи таъсирида чўктириш; 2) марказдан қочма, электр ва бошқа кучлар майдонида чўктириш; 3) фильтрлаш; 4) газларни ювиш.

Газларни чангдан тозалаш учун чўктириш камералари, циклонлар, уюрмали чанг ушлагичлар, скрубберлар, Вентури трубаси, фильтрлар, ротацион қурилмалар, электр фильтрлар ишлатилади.

Амалда газ аралашмаларидаги майда заррачаларни биргина тозалаш қурилмаларида бутунлай ажратиш мумкин эмас. Шунинг учун кўпинча икки ва кўп босқичли тозалаш қурилмалари ишлатилади, яъни аввал катта заррачалар чанг чўктириш камераларида, сўнгра майда заррачалар электр фильтрларда чўктирилади.

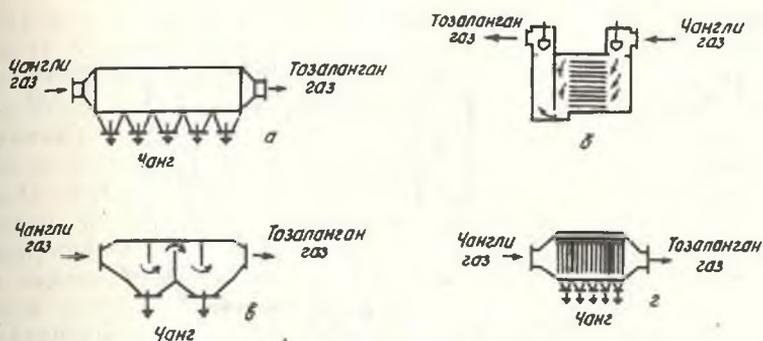
Ҳар бир қурилманинг самарадорлиги газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси билан аниқланади:

$$n = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100 \% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100 \% \quad (8.1)$$

бу ерда G_1 ва G_2 — тозаланмаган ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар миқдори; V_1 , V_2 — дастлабки ва тозаланган газ аралашмаларининг ҳажми; x_1 ва x_2 — чангли ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар концентрациялари, $\text{кг}/\text{м}^3$.

8.2-§. ЧАНГ ЧЎКТИРИШ КАМЕРАЛАРИ

Оғирлик кучи таъсирида чангли газларни тозалаш учун даврий ёки ярим узлуксиз режимда ишлайдиган турли чанг чўктириш камералари ишлатилади. Чанг чўктириш камералари чангли газларни ($50 \div 100$ мкм) бирламчи тозалаш учун ишлатилади. Бундай қурилмаларнинг тозалаш даражаси 40—50 % дан ортмайди. Чанг чўктириш камераларининг ўлчамлари анча катта бўлади. Қаттиқ заррачаларнинг яхши чўкиши учун газ оқимининг тезлиги 3 м/с дан ошмаслиги керак. 8.1- расмда чанг чўктириш камерасининг схемаси кўрсатилган.



8.1- расм. Чанг чўктириш камералари:

а — горизонтал камера; б — кўп полкали камера; в — тўсиқли камера; г — сит пардали камера.

Энг оддий тузилишга эга чанг чўктириш камераси 8.1- расм, а да кўрсатилган. Чангли газ оқими сепарацион бўшлиқда секин ҳаракат қилади, қаттиқ заррачалар эса чанг йигадиған секциялардан бирига тушади. Бундай конструкция оддий тузилишга эга бўлса ҳам катта жойни эгаллайди. Газ оқимининг секин ҳаракатини таъминлаш учун сепарацион камеранинг ҳажми анча катта бўлади.

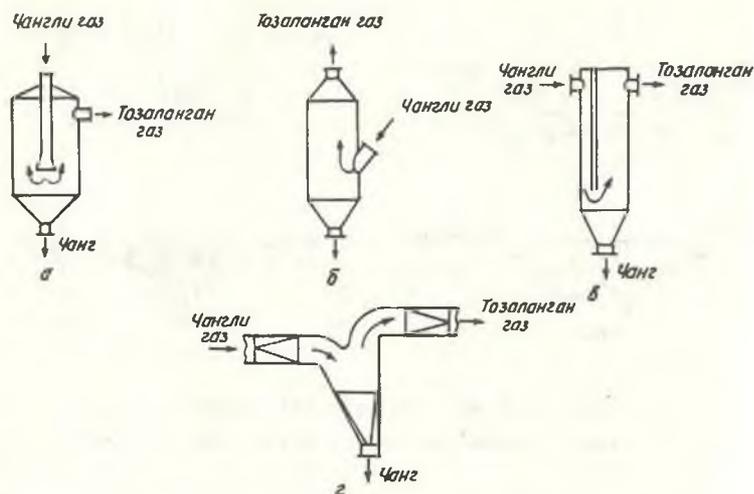
Кўп полкали камерада (8.1- расм, б) сепарацион бўшлиқ горизонтал полкалар ёрдамида бир неча секцияларга бўлинган. Бундай шароитда чанг заррачасининг чўкиш вақти анча камаяди. Чангни чиқариш учун полкалар қия қилиб жойлаштирилади. Полкалар кўзғотувчи қурилмалар билан таъминланиши мумкин.

Тўсиқлари бўлган камерада (8.1- расм, в) гравитацион кучдан ташқари инерцион кучдан ҳам фойдаланилади. Оғирлик ва инерцион кучлардан биргаликда фойдаланиш қурилмаларнинг тозалаш даражасини кўпайтиришга олиб келади.

8.1- расм, г да кўрсатилган камеранинг сепарацион бўшлиғида халқали ёки симли парда жойлаштирилган бўлади. Бундай пардаларга газ оқими урилганда филтрланиш жараёни юз бериб, чанг ажралади; тасодифий турбулент оқимлар эса бузилади.

Инерцион чанг ушлагичларда тозалаш даражасини ошириш учун оғирлик кучидан ташқари инерцион кучлардан фойдаланилади. Бундай ҳолатда қурилманинг ўлчами анча камаяди.

8.2- расмда энг оддий инерцион чанг ушлагичнинг схемаси кўрсатилган. Инерцион чанг ушлагичнинг ишлаш принципи қуйидагидан иборат: чангли газ оқими йўналишининг бирдан ўзгариши пайтида, қаттиқ заррачаларнинг зичлиги ҳаво зичлигига нисбатан тахминан 1000 мартаба катта бўлганлиги сабабли, заррачалар ўз инерцияси билан олдинги йўналишда ҳаракатини давом эттириб, газдан ажралгандан сўнг, чанг йиғичга тушади, тозаланган газ оқими эса қурилмадан ташқарига чиқиб кетади.



8.2- расм. Инерцион чанг ушлагичлар:

а — марказий қисмдан газ берилади; б — ён томондан газ берилади; в — қайтарувчи тўсиқли; з — газ оқимининг йўналиши ўзгаради.

8.2- расм, а, б, да кўрсатилган чанг тутгичларни чангли коплар, деб ҳам юритилади. Унинг ишлаши жуда оддий бўлиб, чангли газ кириш патрубкиси орқали пастга қараб ҳаракатланади, сўнгра газ бирданига юқорига бурилади, бунда чанг газ оқимидан ажралиб, қурилманинг пастки қисмига тушади. Масалан, таркибида диаметри 30 мкмдан катта заррачаларни ушлаган чангли газни тозалашга мўлжалланган чангли қопнинг ажратиш даражаси $65 \div 85\%$ ни ташкил этади. Газнинг кириш патрубкисидаги тезлиги тахминан 10 м/с қурилманинг цилиндрсимон қисмида эса 1 м/с га тенг бўлади. Бундай чанг тутгичнинг гидравлик қаршилиги $150 \div 390$ Па.

Қайтарувчи тўсиқли чанг тутгич (8.2- расм, в) нинг самардорлиги чангли копларникига нисбатан кам, қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам анча кичик. 8.2- расм, г да кўрсатилган чанг тутгични ишлатиш қулай бўлиб, уларни тўғридан тўғри газ трубаларига жойлаштириш мумкин, бунда газ ўтадиган трубаларнинг диаметри 2 м дан кам бўлмаслиги керак.

Чанг чўктириш камераларини ҳисоблаш учун 7.2- ва 7.3- § ларда берилган тенгламалардан фойдаланилади.

8.3- §. ЦИКЛОНЛАР

Оддий чўктириш қурилмаларида газ аралашмаларидаги майда чангларни ажратиш анча қийин. Чўктириш қурилмаларининг улчами катта бўлгани учун улар кўп жойни эгаллайди. Бундан ташқари газларни тозалаш даражаси анча кичик. Шунинг учун чангли газ аралашмаларни тозалаш учун саноатда циклонлар кўп

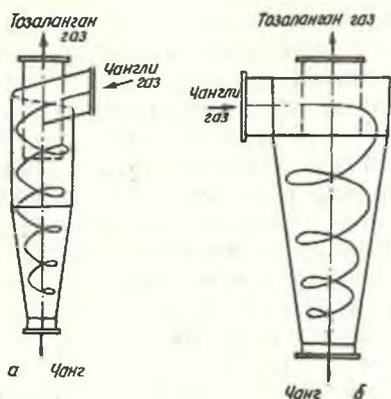
ишлатилади. Циклон цилиндрлик ва конуссимон қисмлардан иборат. Қурилмада тозаланган газ чиқадиган ва чанг тушадиган патрубклар бор. Чангли газ циклонга тангенциал йўналишда $20 \div 25$ м/с тезликда киради. Сўнгра пастга спиралсимон айланма ҳаракат билан йўналади. Натижада марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар ўқдан циклоннинг ички девори томон ҳаракатланади, сўнгра деворга урилиб ўз кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик кучи таъсирида пастга тушади. Циклоннинг пастки конуссимон қисмида газ оқими инерция бўйича айланма спиралсимон ҳаракатини давом эттиради ва юқорига йўналган оқим пайдо бўлади. Тозаланган газ марказий труба орқали қурилмадан чиқиб кетади. Циклондаги чангли газларнинг тозаланиш даражаси қаттиқ заррачаларнинг катталиги, газ оқимининг тезлиги ва қурилманинг геометрик ўлчамига боғлиқ бўлади.

Циклонлар тузилишига кўра икки турга бўлинади: *цилиндрли* ва *конусли* (8.3-расм). Цилиндрли циклонларда қоқиқнинг цилиндрли қисми анча узун қилиб, конусли циклонларда эса конуссимон қисми анча узун қилиб тайёрланган бўлади. Цилиндрли циклонлар юқори иш унумдорликка, конусли циклонлар эса юқори тозалаш даражасига эга. Бироқ конусли қурилмаларда босимнинг йўқолиши кўпроқ бўлади. Конусли циклонларда юқоридан пастга қараб кўндаланг кесим юзасининг камайиб бориши сабабли қурилма девори яқинида чанг заррачаларининг ажралиши тезлашади. Цилиндрли циклоннинг диаметри 2 м дан, конусли циклоннинг диаметри эса 3 м дан ортмаслиги керак. Циклонларнинг диаметри 2—3 м дан ортиб кетса, қурилманинг тозалаш даражаси камайди.

НИИОГАЗ циклонларда чангли газ кирадиган патрубклар қия қилиб жойлаштирилган. Ушбу циклонларнинг учта тури энг кўп ишлатилади: 1) қиялик бурчаги 24° (ЦН — 24) — бундай циклонлар юқори иш унумдорликка ва кичик гидравлик қаршиликка эга бўлиб газ оқимидаги катта ўлчамли чангларни тутиш учун ишлатилади; 2) қиялик бурчаги 15° (ЦН — 15) — нисбатан кичик гидравлик қаршилик билан юқори даражадаги тозалашни таъминлайди; 3) қиялик бурчаги 11° (ЦН — 11) — юқори самарадорликка эга ва такомиллаштирилган чанг ушлағич сифатида тақлиф этилган.

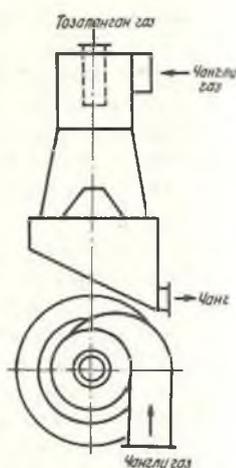
8.4-расмда ВЦНИИОТ конструкцияли циклоннинг схемаси кўрсатилган. Ушбу циклоннинг конуси юқоридан пастга қараб кенгайган. Қурилма кўндаланг кесимининг кенгайиши таъсирида газнинг айланма ҳаракати ва заррачанинг деворга босими камайди. Шу сабабдан бундай циклонларни газ таркибидан юқори абразив хоссага эга бўлган заррачаларни ажратиш олиш учун ишлатиш керак.

Циклонларни сўриш ёки ҳайдаш линияларига ўрнатса бўлади. Бироқ, айниқса газ оқимининг таркибида абразив ёки ёпишувчан заррачалар бўлса вентиляторларнинг ишлаш муддатини узайтириш учун циклонларни сўриш линиясига, вентилятордан олдин



8.3- расм. НИИОГАЗ конструкцияли циклон чизмаси.

а — цилиндрли; б — конусли.



8.4- расм. ВЦНИИОТ конструкцияли циклон чизмаси.

жойлаштириш мақсадга мувофиқ бўлади. Бошқача айтганда, чанг заррачалари вентиляторга кириб, уни тезда ишдан чиқариши мумкин. Циклон билан бункер жуда зич қилиб ўрнатилиши керак, чунки озгина микдордаги хавонинг системага тортилиши тозалаш самарадорлигини анча пасайтиради.

Циклонда газ таркибидаги сув бугларининг конденсацияга учрашига йўл қўймаслик учун газнинг температураси шудринг нуқтасидан $10 \div 25^\circ\text{C}$ юқори бўлишлиги керак. Бунинг учун циклонлар тегишли изоляция қатлами билан қопланади, айрим пайтда уларнинг деворлари қиздирилади.

Умуман олганда, циклонлар таркибида 400 г/м^3 гача қаттик фаза тутган чангли газларни тозалаш учун ишлатилади. НИИО газ томонидан ишлаб чиқарилаётган циклонларнинг диаметри $100 \div 1000$ мм га, чангли газларнинг тозаланиш даражаси $30 \div 85$ % га тенг. Чангли газ аралашмаларидаги қаттик заррачаларнинг диаметри катталашган сари газларнинг тозаланиш даражаси $90 \div 95$ % гача ортиши мумкин.

Циклонларда газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси ажратиш коэффициентига боғлиқ:

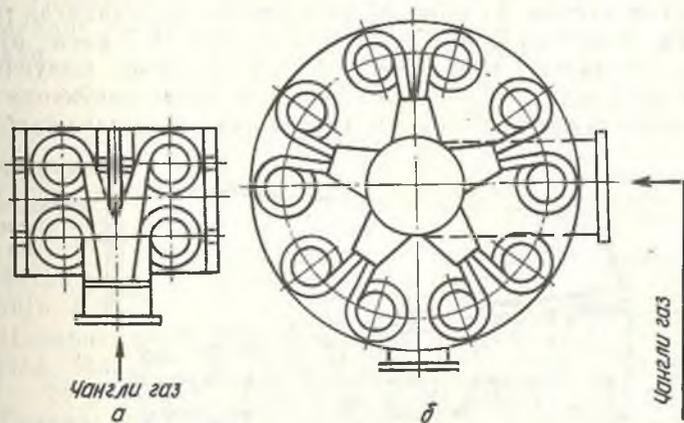
$$K_a = \frac{\omega^2}{rg}, \quad (8.2)$$

бу ерда ω — газ оқимининг тезлиги, м/с; r — циклоннинг радиуси, g — эркин тушиш тезланиши; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Бу тенгликдан кўриниб турибдики, газларнинг тозаланиш даражасини ошириш учун газ оқими айланма ҳаракатининг радиусини, яъни циклоннинг радиусини камайтириш ёки газ оқимининг ҳаракат тезлигини ошириш керак. Газларнинг тезлиги ортиши натижасида циклонда кучли турбулент оқим ҳосил бўлиб,

гидравлик қаршилиқ катталашади, чангли газлардаги қаттиқ заррачаларнинг нормал чўқиши бузилади ва газларни тозалаш кийинлашади. Циклонларнинг радиуси кичиклаштирилса, уларнинг унумдорлиги камаёди. Шунинг учун кўп миқдордаги чангли газларни тозалаш ва ажратиш тезлигини ошириш учун параллел ишлайдиган циклонлар гуруҳи ёки батареяли циклонлар ишлатилади.

Саноатда тегишли иш унумдорлигини таъминлаш учун параллел режимда ишлайдиган циклонлар гуруҳи қўлланилади, бундай шароитда циклонлар умумий чанг йиғадиган бункерга, чангли газ бериладиган ва тозаланган газ юбориладиган коллекторларга эга бўлади. Битта катта циклон ўрнига бир неча кичик диаметрли циклонлардан фойдаланиш бир қатор афзалликларга эга: 1) газнинг чизикли тезлиги бир хил бўлган шароитда кичик диаметрли циклонда кучли марказдан қочма кучлар пайдо бўлади, натижада чанг ушланиш даражаси юкори бўлади; 2) катта диаметрли циклонларнинг баландлиги ҳам катта бўлганлиги сабабли уларни жойлаштириш кийин, кичик диаметрли циклонларни жойлаштириш эса анча енгил.



8.5- расм. Циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари:

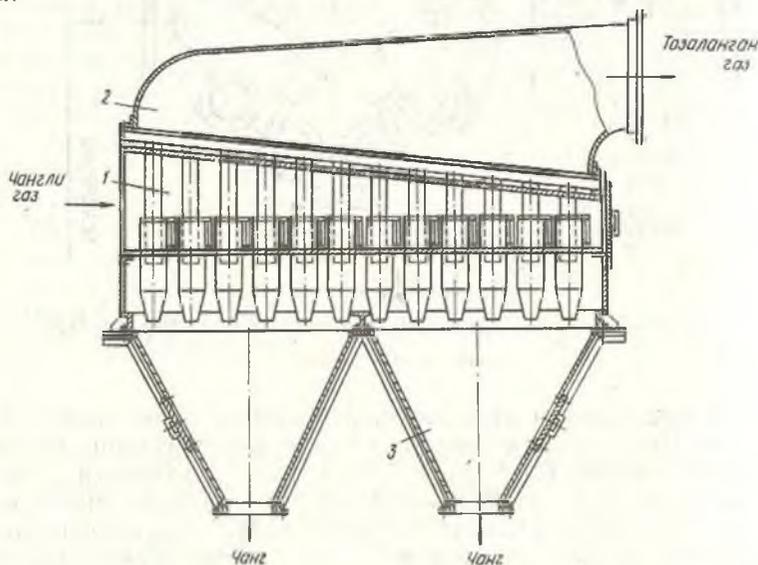
а — жуфт қилиб; б — айлана бўйича.

8.5- расмда циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари кўрсатилган. Циклонларни икки усул билан жойлаштириш мумкин: жуфт-жуфт қилиб (8.5- расм, а) ва айлана узунлиги бўйича (8.5- расм, б). Жуфт-жуфт қилиб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 2 та, айлана бўйлаб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 10—14 та бўлиши мумкин. Бунда ҳамма циклонлар газ бериладиган вертикал труба атрофида жойлаштирилади. Бирок циклонлар гуруҳининг тозалаш даражаси бу гуруҳга кирган битта циклоннинг тозалаш даражасига тенг бўлади.

Кичик диаметрли циклонлар (ёки мультициклонлар)нинг афзаллиги батареяли циклонларда яхши намоён бўлган. Батареяли циклонлар диаметри 100—300 мм бўлган кўп сондаги (айрим пайтда бир неча юз) параллел ишлайдиган циклон элементларидан таркиб топган бўлади. Саноатнинг айрим соҳаларида ишлатиладиган батареяли циклонда 792 та элемент бўлиб, газ бўйича 650000 м³/соат иш унумдорлигига эга.

8.6-расмда кўрсатилган батареяли циклон (БЦУ) юкка деворли қобикдан иборат бўлиб, чангли ва тозаланган газлар учун камералар (1), (2) ва чанг йиғувчи бункер (3) дан таркиб топган. Циклон элементлари тегишли тўсиқларга шундай қилиб жойлаштирилганки, бунда элементларнинг тангенциал патрубккалари чангли газ камераси билан, марказий чиқариш трубалари тозаланган газ камераси билан, чанг чиқарувчи тешиклари эса чанг йиғич бункер билан боғланган.

Циклон элементларида газ оқимига айланма ҳаракат берувчи тангенциал ёки ўқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилади. Тангенциал уярма ҳосил қилувчилар каторига қисқа ва тораювчи патрубккалар ва спиралсимон трубккалар киради. Ўқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилганда циклон элементларининг қопқоғи бўлмайди ва чангли газ қобик ва тозаланган газ чиқадиган труба оралигига берилади, ушбу ораликда «винт» (8.7-расм, а) ёки «розетка» типдаги (8.7-расм, б) уярма ҳосил қилувчилар ўрнатилган бўлади. «Винт» типдаги уярма ҳосил қилувчида чанг кам даражада тикилади ва унинг гидравлик қаршилиги нисбатан кам.



8.6-расм. Батареяли циклон:

1 — чангли газ камераси; 2 — тозаланган газ камераси; 3 — чанг йиғадиган бункер.

Саноатда кўпинча диаметри 1 м гача бўлган циклонлар ишлатилади. Агар катта ҳажмдаги газларни (140 м³/с гача) тозалаш зарур бўлса, циклонлар гуруҳи ёки батареяли циклонлар ишлатилади.

Циклонларнинг саноатда кўп ишлатишидан қатъи назар, уларда юз берадиган турли жинсли системаларни ажратиш жараёни тўла тадқиқот қилинмаган, чунки қурилмадаги гидродинамик ҳолат анча мураккаб. Шу сабабдан циклонларни танлаш асосан эмпирик йўл билан олинган натижаларга асосланади. Гидравлика нуқтаи назаридан циклон қандайдир маҳаллий қаршилик, деб олинishi мумкин. Бундай ҳолатда циклоннинг гидравлик қаршилиги газ оқимининг тезлик босимига тенг бўлади:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_{\phi}^2}{2}, \quad (8.3)$$

бу ерда ξ — циклоннинг қаршилик коэффициенти; ρ — циклондан ўтаётган газнинг зичлиги, кг/м³, ω_{ϕ} — циклон цилиндрсимон қисмининг тўла кўндаланг кесимиغا нисбатан олинган газнинг фиктив тезлиги, м/с (ω_{ϕ} — 2,5 ÷ 4 м/с)

Циклоннинг гидравлик қаршилиги қурилманинг типига боглик бўлади. Масалан, НИИОГАЗ конструкцияли циклонлар учун: ЦН — 24 $\xi = 60$; ЦН — 15 $\xi = 160$; ЦН — 11 $\xi = 250$

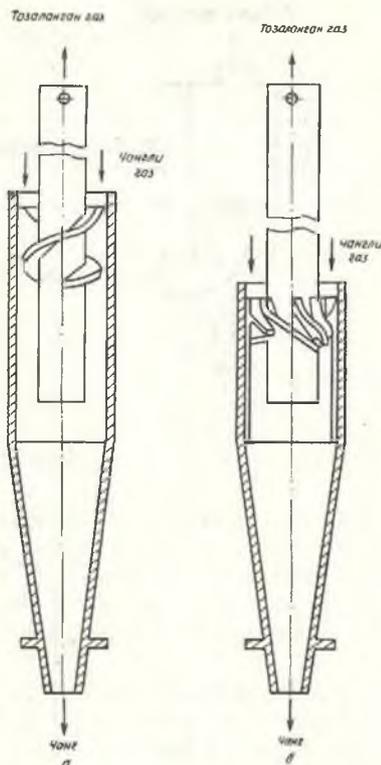
Газнинг фиктив тезлиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\omega_{\phi} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi \rho}}. \quad (8.4)$$

ξ ва $\Delta P/r$ нинг қийматлари турли конструкцияли циклонлар учун справочникларда берилган бўлади. Циклон цилиндр қисмининг диаметри сарф тенгламаси ёрдамида топилади:

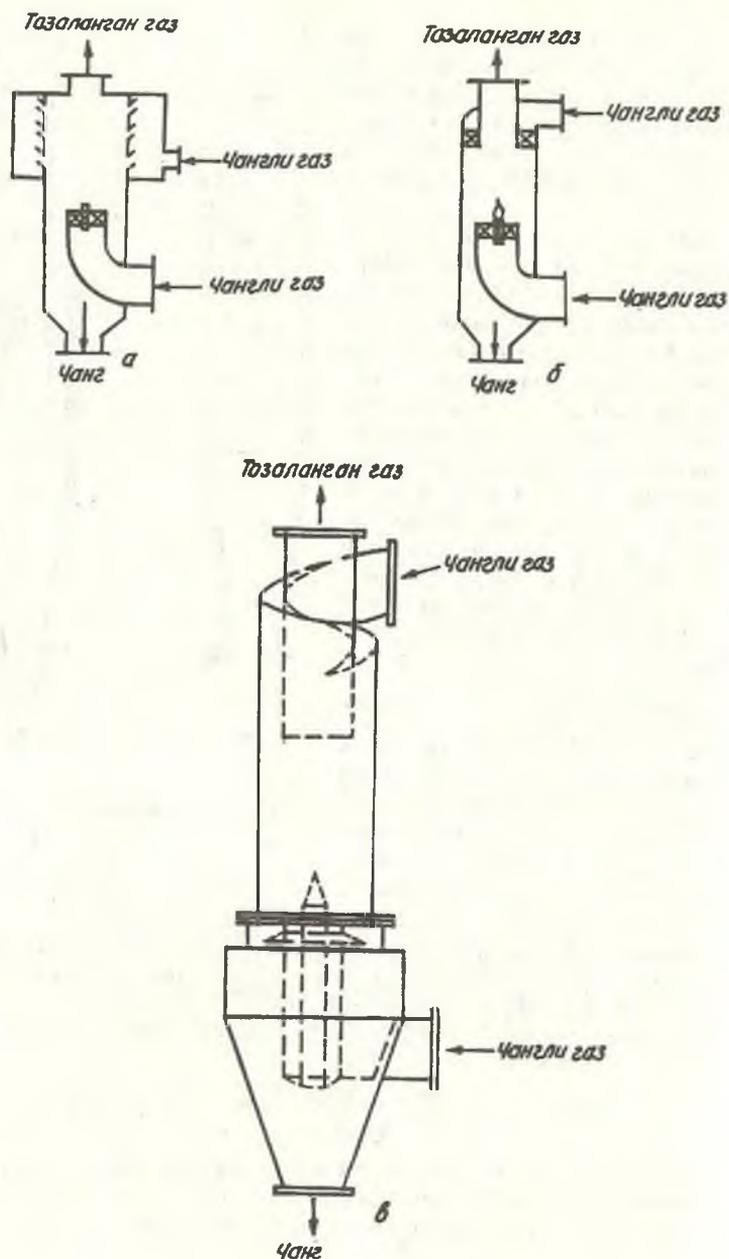
$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \omega_{\phi}}}. \quad (8.5)$$

бу ерда V — циклондан ўтаётган газнинг ҳажмий сарфи, м³/с. Циклоннинг қолган ҳамма ўлчамлари D га нисбатан стандартлаштирилган.



8.7-расм. Батареяли циклонларнинг элементлари:

а — «винт» типидagi йўналтирувчи парралли;
б — «розетка» типидagi йўналтирувчи парралли.



8.8- расм. Цилиндрсимон уюрмали чанг тутгич:

а — юкориги газ окимини сопо ёрдамида киритиш; б — юкориги на пастки газ окимларини паррак ёрдамида киритиш; в — юкориги ва пастки газ окимларини тангенциал йуналишда киритиш.

8.4- §. УЮРМАЛИ ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Уюрмали чанг ушлагичлар циклонларга нисбатан анча кейинрок таклиф этилган. Бундай қурилманинг ўқ йўналишида пастки (бирламчи) ва юқориги (иккиламчи) уюрмали оқимларнинг бир-бирига қарама-қарши ҳаракати мавжуд.

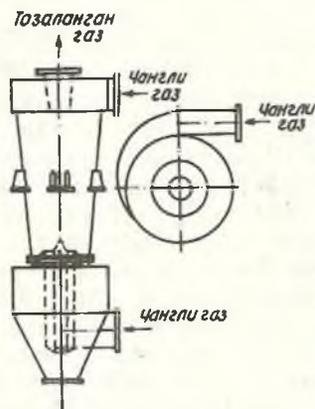
Уюрмали чанг ушлагичнинг схемалари 8.8-ва 8.9- расмларда кўрсатилган.

Юқориги оқим билан кирган чанг заррачалари марказдан қочма куч таъсирида девор юзаси томон улоктирилади, юза бўйлаб пастга қараб спиралсимон ҳаракат қилиб, чанг йигиладиган бункерга тушади. Пастки оқим билан қурилмага кирган чанг заррачалари дастлаб газ оқими билан бирга спиралсимон ҳаракатланиб юқорига кўтарилади, кейинчалик марказдан қочма куч ёрдамида девор томон улоктирилади ва юқориги оқим билан бирга пастга қараб ҳаракатланиб чанг йигиладиган бункерга тушади.

Чангли газнинг қурилмага кириш усулига кўра уюрмали чанг ушлагич бир неча турга бўлинади: 1) иккиламчи газ оқимини сопло ёрдамида киритувчи (8.8- расм, а); 2) бирламчи ва иккиламчи газ оқимларини паррак ёрдамида киритувчи (8.8- расм, б); 3) бирламчи ва иккиламчи газ оқимини тангенциал йўналишда киритувчи қурилмалар.

Сопло ёрдамида газ оқими кирадиган қурилманинг юқориги қисмида горизонтга нисбатан $15 \div 30^\circ$ қия қилиб жойлашган бир неча қатор соплолар ўрнатилган; ушбу тангенциал соплолар ёрдамида иккиламчи газ оқими уюрма ҳосил қилади. Соплодан чиқаётган газнинг тезлиги $60 \div 80$ м/с ни ташкил этади. Бундай Қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг ҳажмий сарфи умумий газ сарфининг $30 \div 50$ % ини ташкил этади.

Газ оқими паррак ёрдамида ёки тангенциал йўналишда киритиладиган қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг босими сопло ёрдамида кирадиган газ босимига нисбатан анча кам бўлади. Одатда иккиламчи газнинг қурилмага киришидаги босими ва тезлиги тахминан циклонлардаги кўрсаткичларга жуда яқин. Саноат ишлаб чиқаришларида юқориги ва пастки газ оқимлари тангенциал йўналишда кирадиган уюрмали чанг ушлагичлардан фойдаланиш қулай ва арзонга тушади. Бундан ташқари қурилманинг тузилиши содда ва босимнинг йўқолиши камрок.

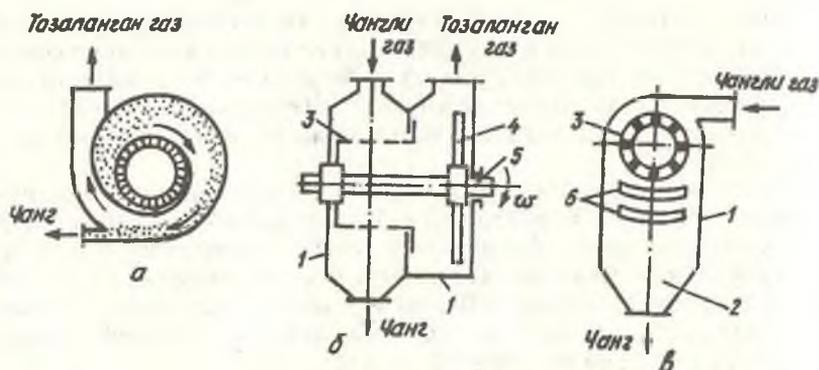


8.9- расм. Конуссимон уюрмали чанг тутгич.

8.5-§. РОТАЦИОН ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Ротацион ёки динамик чанг тутгичларда чанг заррачасига таъсир қилувчи марказдан қочма ва Кориолис кучлари иш гилдираги (ротор) нинг айланиши натижасида ҳосил бўлади. Чанг тутгишнинг умумий қонуниятлари уюрмали ва ротацион қурилмаларда деярли бир хил. Ротацион чанг тутгичнинг асосий афзаллиги шундан иборатки, унинг ишлаши учун қўшимча тортиш-пуфлаш қурилмаси керак эмас. Роторнинг айланиш сонини кўпайтириш йўли билан инерцион ва марказдан қочма чанг тутгичларга нисбатан, анча юқори самарадорликка эришиши мумкин.

Ротацион қурилманинг асосий камчилиги — кўп энергия талаб қилишидир. Бироқ чанг тутиш ва вентиляторнинг вазифалари бирга қўшиб амалга оширилганлиги сабабли, ротацион қурилмалар анча ихчам тузилишга эга. Саноатда ишлатилинаётган ротацион чанг тутгичлар икки турга бўлинади: спиралсимон қобикли ва айланувчан барабанли.



8.10- расм. Айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгич;

a — иш схемаси; *б* — барабан билан вентилятор битта ўқда жойлашган; *в* — уюрмани камайтирадиган панжара; 1 — қобик; 2 — чанг йиғич; 3 — барабан; 4 — вентилятор гилдираги; 5 — умумий вал; 6 — уюрмани камайтирадиган панжара.

8.10- расмда айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгичлар кўрсатилган. Бундай қурилманинг ишлаш схемаси 8.10- расм, *a* да изоҳланган. Тозаланиши лозим бўлган газ юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан орқали ўтади, чанг заррачалари эса марказдан қочма куч таъсирида барабаннинг ташқарисида қолади. 8.10- расм, *б* да кўрсатилган чанг тутгичнинг асосий иш қисмларига ичи бўш ва юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан (3) ва вентилятор (4) киради. Барабан ва вентиляторнинг гилдираги умумий вал (5) га ўрнатилган. Вал электр двигатель ёрдамида ҳаракатга келади. Барабан (3) нинг ичида айланувчи гилдирак (4) ёрдамида газни қурилмадан чиқариб юбориш учун етарли бўлган вакуум ҳосил бўлади. Чанг марказдан қочма куч таъсирида барабаннинг перфорация қилинган юзасидан ажралади ва қобикнинг пастки қисмидаги чанг йиғич (2) да тўпланади.

8.10-расм, в да кўрсатилган қурилмада хавонинг чанг йиғиладиган қисмидаги кераксиз уюрма ҳаракатларини сусайтириш учун махсус панжаралар (6) ўрнатилган.

Ротацион чанг тутгичлар қаторига махсус турбина билан таъминланган турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар қиради. Турбина марказдан қочма куч майдонини ҳосил қилади ва уни кучайтиради. Натижада газларни чангдан тозалаш даражаси кўпаяди.

8.6-§. ГАЗЮВУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Газларни ювиш йўли билан чангдан тозалаш усулидан фойдаланилганда чангли оқим томчи ёки пленка ҳолатидаги суюқлик билан контактда бўлади. Гидрофилл хоссали чанг суюқлик юзасига ёпишиб, у билан бирга қурилмадан ташқарига чиқарилади. Чанг ювишнинг камчилиги — ифлосланган оқинди суюқликларнинг ҳосил бўлишидир. Бундай оқинди сувлар тозалашни талаб қилади. Газ ювиш усули ёрдамида жуда кичик заррачалар (0,1 мкм гача) ни тутиб қолиш имконияти мавжуд ва жуда юқори (99 % гача) тозалаш даражасига эришиш мумкин. Газ ювувчи қурилмаларни чанг тутишидан ташқари бир вақтнинг ўзида куйидаги вазифаларни ҳал қилиш мақсадида ишлатиш мумкин: газларни совитиш ёки намлаш; чанг билан биргаликда томчи ва туманларни тутиб қолиш; газ қўшимчаларини абсорблаш.

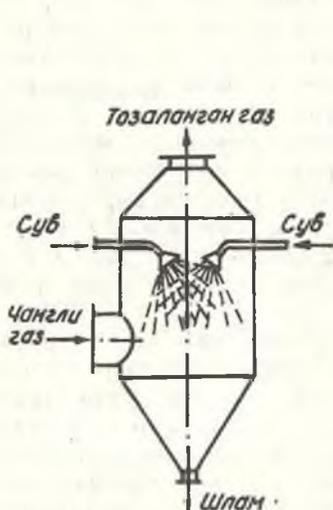
Газювувчи қурилмалар камчиликлардан ҳоли эмас: а) қурилма ва трубопроводлар юзасига чанг заррачаларининг ёпишиб қолиши; б) суюқлик (одатда сув) нинг сарфи анча катта; в) газларни, айниқса агрессив газларни, тозалаш учун қурилма ва трубопроводларни коррозиядан химоя қилиш талаб қилинади; г) паст температурада (0° С дан кам) ишлатиш мумкин эмас, чунки сув музлаб қолади; д) катта тезлик билан ишлайдиган қурилмалар учун қўшимча томчи ушлагични ўрнатиш талаб қилинади.

Газювувчи қурилмалар куйидагича синфларга бўлинади: 1) фазалар контакт юзасининг турига кўра; суюқликни сочиб берувчи, кўзголмас ва кўзголувчан насадкали, тарелкали (барботажли ва кўпикли) планкали (сув пленкали циклонлар ва уюрмали чанг ушлагичлар); 2) иш принципига кўра: гравитацион, марказдан қочма, зарба-инерцион, оқимчали ва механик газювувчи қурилмалар; 3) энергия сарфига кўра уч гуруҳга бўлинади: паст босимли чанг ушлагичлар — гидравлик қаршилиги 1500 Па гача (суюқликни сочиб берувчи, тарелкали, марказдан қочма ва хоказо), ўрта босимли чанг ушлагичлар — қаршилиги 1500 дан 3000 Па гача (насадкали, механик, зарба-инерцион ва хоказо), юқори босимли қурилмалар (Вентури трубаси, дезинтеграторлар ва хоказо).

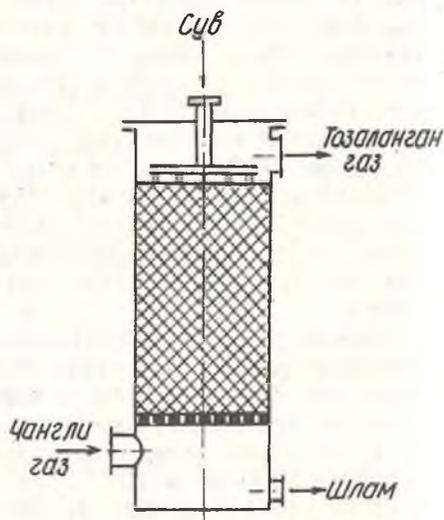
Газювувчи қурилмаларда механик (марказдан қочма, ультратовушли), пневматик (суюқликнинг сочилиши газ ёрдамида

амалга оширилади) ва электр форсункалар ишлатилади (форсунка — суюқликларни пуркаб берувчи асбоб). Механик форсункалар энг кўп тарқалган бўлиб, тузилиши содда, нархи арзон, ишлатиш қулай. 1 т суюқликни ўлчами 0,001 дан 3,5 мм гача бўлган томчилар ҳолатида сочиш учун $2 \div 20$ кВт энергия сарф бўлади.

Суюқликни сочиб берадиган газюувчи қурилмалар. Бундай қурилмалар (скрубберлар) ичи буш қобикдан иборат бўлиб, уларнинг пастки қисмига чангли газ берилади, юқориги қисмида форсункалар ёрдамида сув сочиб берилади. Газ юқоридан пастга йўналган сув томчиларига нисбатан қарама-қарши ҳаракат қилади (8.11- расм). Томчиларнинг тозаланган газ билан чиқиб кетмаслиги учун уларнинг ўлчами анча катта бўлиши керак. Форсункалар $0,3 \div 0,4$ мПа босим билан ишлайди. Агар газнинг



8.11- расм. Ичи буш форсункали скруббер.



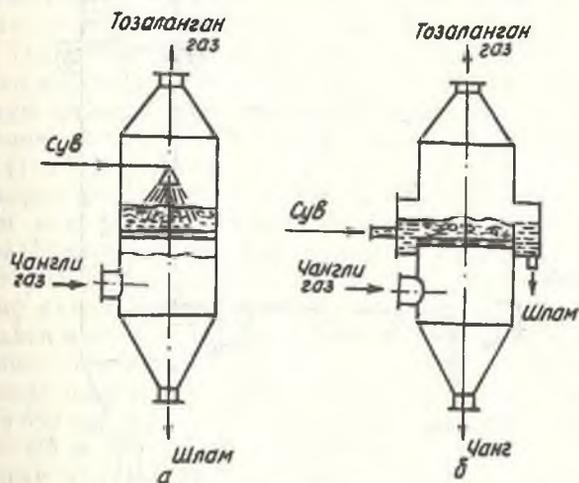
8.12- расм. Насадкали скруббер.

тезлиги 5 м/с дан кўп бўлса скруббердан сўнг томчи ушлагич ўрнатилади. Заррачанинг ўлчами 10 мкм дан катта бўлганда қурилманинг тозалаш даражаси 99 % ни ташкил этади, заррачанинг ўлчами кичиклашиши билан чанг тутгичнинг тозалаш даражаси бирданига камайиб кетади. Суюқликни сочиб борувчи скрубберлар катта ўлчамли чанглари ушлаш, газларни совитиш ва кондициялаш учун ишлатилади. Қурилманинг баландлиги диаметрига нисбатан одатда 2,5 марта катта бўлади. Сувнинг солиштирма сарфи $0,5$ дан 8 л/м^3 гача боради.

Насадкали скрубберлар. Бундай қурилмаларда контакт юзани кўпайтириш учун қўшимча жисмлар (насадкалар) дан фойдаланилади (8.12- расм). Қўзғолмас насадкалар ҳалқасимон, шарсимон ва бошқа шаклли бўлиши мумкин. Суюқлик насадкаларнинг юзалари бўйича плёнка тарзида ҳаракат қилади. Суюқликнинг

солиштира сарфи $1,3 \div 2,6$ л/м³. Насадкали скрубберларнинг гидравлик қаршилиги 300—800 Па. Насадкали скруббернинг ўртача тозалаш даражаси 75—85 %. Бирок ўлчами 2 мкм дан катта бўлган заррачаларни тутганда қурилманинг тозалаш даражаси 90 % дан ортиб кетиши мумкин. Насадкали скрубберлар сочиб берувчи қурилмаларга нисбатан анча самарали, бирок уларнинг гидравлик қаршилиги каттарок.

Тарелкали газювчи қурилмалар. Бундай қурилмаларда газ билан суюқлик ўртасидаги контакт горизонтал жойлашган тарелкаларнинг устида юз беради. Газнинг тезлиги кичик (1 м/с атрофида) бўлганда, газ суюқлик қатлами орқали ўтиб пуфаклар ҳосил бўлади, бу жараён барботаж жараёни деб юритилади. Агар газнинг тезлиги катта бўлса — турбулентлашган кўпик қатлами пайдо бўлади. Шу сабабдан тарелкали скрубберлар икки турга бўлинади: кўпикли ва барботажли.



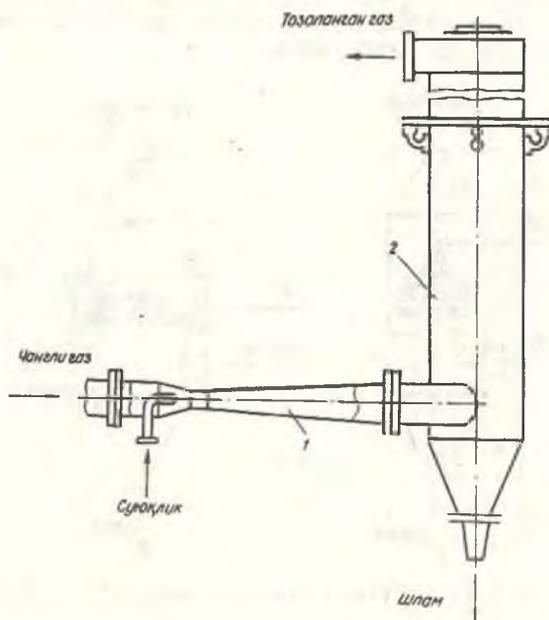
8.13- расм. Кўпикли газ ювчи қурилма:

а — ағдарилма тарелкали; б — куйилиш тарелкали.

8.13- расмда кўпик ҳосил қилувчи тарелкали газювчи қурилмаларнинг икки тури кўрсатилган: а) ағдарилма тарелкали; б) куйилиш тарелкали. Ағдарилма тарелкали скрубберларда тешикли ва тирқишли панжаралар ишлатилади. Тешикларнинг диаметри 4—8 мм, тирқишларнинг кенглиги 4—5 мм. Тарелканинг эркин кесими (умумий кесимга нисбатан тешикларнинг улуши) $0,2 \div 0,5$ м²/м². Куйилиш тарелкали қурилмаларда калпоқчали, S-симон, йиғичи бўлган тешикли ва бошқа типдаги тарелкалардан фойдаланилади.

Бу турдаги қурилмаларда перфорация қилинган тарелкаларнинг сони бир печта бўлиши мумкин, бундай шароитда тозалаш даражаси ортади (99% гача). Битта тарелканинг гидравлик қаршилиги тахминан 600 Па га тенг бўлади.

Саноатда кўпик қатламини барқарорлаштириб турадиган қурилмаси бўлган тарелкали скрубберлар кенг ишлатилмоқда. Барқарорлаштирувчи қурилма (стабилизатор) кўпикли режимнинг тезлик интервалини анча кенгайтиради (4 м/с гача) ва кўпик қатламининг баландлигини кўпайтиради. Бундай қурилмаларнинг газ бўйича иш унумдорлиги стандартлаштирилган ва 3 дан 90 минг м³/соат гача ўзгариши мумкин. Тарелкалардаги газнинг оптимал тезлиги $2,5 \div 4,5$ м/с, суюқликнинг солиштирма сарфи $0,05 \div 0,1$ л/м³. Кўпикли қурилмалар кимё ва металлни қайта ишлаш саноатида, айниқса минерал ўғитлар ишлаб чиқаришда газларни фтор, олтингугурт, фосфор чангларида тозалашда яхши самара бермоқда.



8.14- расм. Вентури скруббери:

1 — суюқликни сочиб берувчи труба; 2 — циклон томчи ушлагич.

Вентури скруббери. Бундай қурилма суюқликни сочиб берувчи труба (Вентури трубаси) ва суюқлик томчиларини газ оқимидан ажратадиган сепаратордан ташкил топган (8.14- расм). Вентури трубаси 1 тораювчи қисм (конфузор), қисқа цилиндрсимон қисм (бўғиз) ва кенгайиб борувчи қисм (диффузор) лардан тузилган. Суюқлик махсус сочиб берувчи қурилма ёки механик форсунка ёрдамида конфузор (ёки бўғиз) га берилади. Трубанинг характеристикалари қуйидагича ўзгариши мумкин: конфузорнинг қиялик бурчаги $25\text{—}28^\circ$; диффузорнинг қиялик бурчаги $6\text{—}7^\circ$; бўғизнинг узунлиги диаметрининг $0,15\text{—}0,5$ улуши; бўғизнинг диаметри

трубопровод диаметрининг 0,4—0,5 улуши. Босим йўқолишини камайтириш учун Вентури трубасининг ички юзаси механик қайта ишлаш йўли билан силликлантирилади.

Газ — суюқлик окимининг бўғиздан кейин диффузорга ўтиб, кенгайиши пайтида суюқликнинг қўшимча майда томчиларга ажралиши юз беради. Бу ерда суюқлик томчилари чанг заррачаларини ўзи билан бирга олиб кетади. Томчиларнинг газ окимидан ажралиш жараёни циклон-томчи ушлагич (2) да рўй беради.

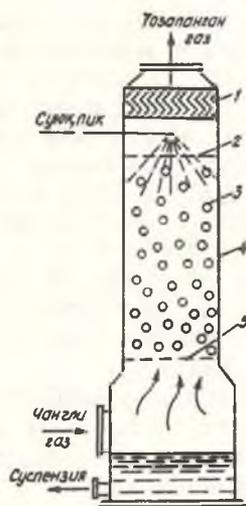
Бўғиздаги газнинг тезлиги 60—150 м/с га етади. Суюқлик ортикча босим (0,03—0,1 мПа) билан берилади. Диффузорда окимнинг тезлиги 20—25 м/с гача камаяди. Циклонда газ-суюқлик окимининг тезлиги 4—5 м/с ни ташкил қилади.

Вентури скрубберда чанг заррачаларини ушлаб турган суюқлик томчиларига нисбатан газнинг катта тезлигига эришилади. Шу сабабдан Вентури қурилмасида газ таркибдаги ўлчами 1 мкм дан кичик бўлган каттик заррачаларни ушлаш имконияти мавжуд. Тозалаш даражаси 99 % гача етади, бироқ қурилманинг гидравлик қаршилиги жуда катта (2200—12800 Па).

Мавҳум қайнаш қатламли скрубберлар. Бундай газ ювувчи қурилманинг чизмаси 8.15-расмда кўрсатилган. Цилиндрсимон қобик (4) нинг пастки таянч (5) ва юқориги чегараловчи (2) панжаралари оралигида насадка қатлами мавжуд. Насадка сифатида ичи бўш ёки яхлит шарлар ишлатилиши мумкин. Панжара (5) бир вақтнинг ўзида насадка учун таянч ва газни бир текисда таркатувчи қурилма вазифасида хизмат қилади. Насадка кўзғолмас қатламининг баландлиги 200—300 мм, панжаралар оралигидаги масофа эса 1200—1500 мм бўлиши мумкин. Шарлар полиэтилен, полистирол, резина, шиша ва бошқа материаллардан тайёрланади; шарнинг диаметри қурилма диаметрининг 0,1 улушидан катта бўлмаслиги керак. Бу турдаги саноат қурилмаларининг диаметри 6,5 м гача бўлиши мумкин.

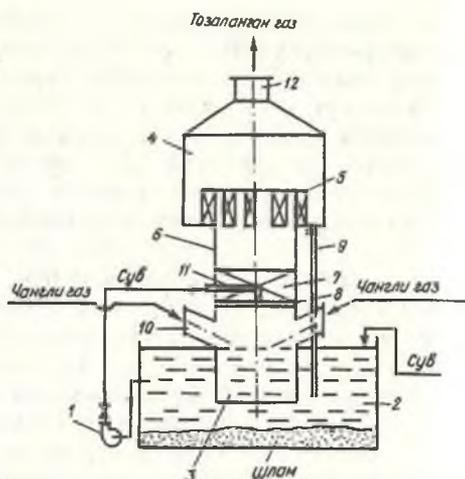
Қурилма тўла мавҳум қайнаш режимида ишлайди, унинг юқориги қисмидан суюқлик форсунка ёрдамида сочилиб турилади. Газнинг тезлиги 4—6 м/с ни ташкил этади. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги насадкалар таъсирида газ оқими турбулизация қилинади, фазалар ўртасидаги юза кўп маротаба янгиланади, окибатда газ билан суюқлик яхши контактга учрайди. Қурилмада уч фазали қатлам (каттик жисм — газ — суюқлик) ҳосил бўлади. Ушбу уч фазали қатламнинг динамик баландлиги ортиши билан қурилманинг чанг ушлаш самарадорлиги ва гидравлик қаршилиги кўпаяди. Иш режимида гидравлик қаршилик $0,8 \div 2,0$ кПа ни ташкил этади.

Айланиб юрувчи насадкали скрубберлар. Ҳозирда мавҳум қайнаш қатламли газ ювувчи қурилмаларнинг қатор самарали конструкциялари ишлаб чиқилди. Жумладан, Тошкент Давлат техника университети мутахассислари томонидан айланиб юрувчи насадкали скруббернинг бир неча янги турлари таклиф этилди. Насадкалар айланиб юрувчи ҳолатга етганида қатламдаги бўш



8.15- расм. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги шарсимон насадкали скруббер:

1 — томчи ушлагич; 2 — юқориги чегарали панжара; 3 — насадка қатлами; 4 — цилиндрсимон қобик; 5 — пастки таялч панжараси.



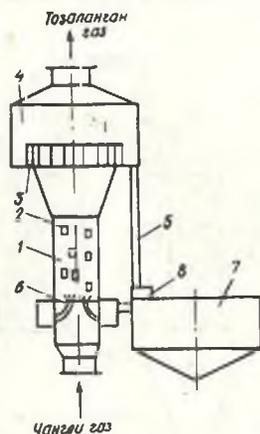
8.16- расм. Айланиб юрвчи насадкали ва суюклик циркуляция қилиб бериладиган чанг тутғич:

1 — насос; 2 — шлам йиғгич; 3 — қурилма куб; 4 — сепаратор; 5 — уюрма ҳосил қилувчи қурилма; 6 — қурилманинг иш соҳаси; 7 — айланиб юрвчи насадкали қатлам; 8 — таялч панжараси; 9 — қуйилиш труба; 10 — чангли газ кирадиган штуцер; 11 — формунка; 12 — тозаланган газ чиқадиган патрубок.

ҳажмининг улуши $\epsilon = 1$ бўлади. Ушбу скрубберлар Чирчик шаҳридаги Ўзбекистон қийин эрувчан ва ўтга чидамли металллар комбинатининг газларни чангдан тозалаш системасида муваффақиятли ишлатилмоқда.

8.16- расмда айланиб юрвчи насадкали ва суюклик циркуляция қилиб бериладиган скруббернинг схемаси кўрсатилган. Қурилмага суюклик марказдан қочма насос (1) ёрдамида берилади. Чангли газ панжара (8) нинг пастки қисмига штуцер (10) ёрдамида юборилади. Газ кирадиган штуцер вертикал ўққа нисбатан $5-10^\circ$ қиялик билан ўрнатилган. Суюклик панжара юзаси томонга қараб, сочиб берувчи қурилма (11) ёрдамида тарқатилади. Панжаранинг устида насадка қатлами (7) жойлашган. Панжара орқали ўтган газ оқими насадкаларни айланиб юрвчи ҳолатга келтиради. Газнинг тезлигига кўра суюклик панжара орқали қисман ағдарилиб, қурилманинг куб қисмига тушади ёки иш зонаси (6) орқали қурилманинг юқориги қисмидаги сепаратор (4) га ўтади. Сепараторда марказдан қочма уюрма ҳосил қилувчи (5) ёрдамида суюклик газдан ажралади. Ажралган суюклик қуйилиш труба (9) орқали шлам йиғгичга тушади. Тозалашган газ патрубок (12) орқали атмосферага чиқарилади. Газнинг тезлиги $3-12$ м/с, суюкликнинг тезлиги эса $1 \cdot 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-3}$ м/с чегараларида ўзгариши мумкин.

Майда дисперсли заррачаларни тутиб қолиш даражаси газ тезлигининг ортиши билан кўпаяди, бунинг учун қурилмада тўғри йўналишли режим ташкил қилинади. Газнинг тезлиги 7—8 м/с дан юқори бўлиши керак. Бундай шароитда суюқлик панжарадан ағдарилиб, қурилманинг пастки қисмида йигилмайди. Насос ишлатишга эҳтиёж қолмайди. 8.17- расмда суюқлик инжекцион усул билан бериладиган чанг тутгичнинг чизмаси кўрсатилган. Газ қурилманинг пастки қисмига берилиб, иш соҳаси (1) дан ўтади ва бу соҳада жойлашган насадкалар (2) ни айланувчан ҳолатга келтиради. Газ чангдан иш соҳасида турбулизация қилинган газ — суюқлик қатлами ёрдамида тозаланади. Суюқлик сепаратор (4) да ажралади ва рециркуляция қилиш учун ишлатилади. Суюқлик труба (5) орқали шлам йиггич (7) га қуйилади. Суюқлик таркибидаги майда заррачалар шлам йиггич (7) да чўкмага тушади.



8.17- расм. Айланиб юрвчи насадкали ва инжекцион тарелкали чанг тутгич:

1 — иш соҳаси; 2 — айланиб юрвчи насадка; 3 — уярма ҳосил қилувчи қурилма; 4 — сепаратор; 5 — қуйилиш трубаси; 6 — инжекцион қурилма; 7 — шлам йиггич; 8 — сарф ўлчегич.

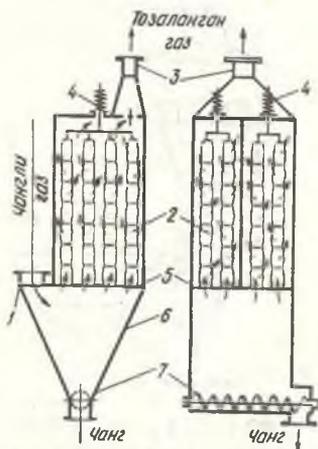
Айланиб юрвчи насадкали скрубберларда газ — суюқлик окими насадкалар ёрдамида кучли турбулизация қилинади. Заррачаларнинг томчиларда чўкиши турбулент — импульсли механизми асосида юз беради. Бунинг учун қурилмада оптимал масштабни интенсив турбулент пульсациялари ташкил этилади. Ушбу скрубберлар ёрдамида газ аралашмалари таркибидаги микронли ўлчам ва турли физик хоссаларга эга бўлган қаттик заррачаларни ажратиш олиш мумкин.

Саноат миқёсида олиб борилган тажрибалар шуни кўрсатдики, айланиб юрвчи насадкали скрубберларда юқори даражадаги чанг ушлашликка эришилади: 93—96 % 1—2 мкм ли заррачалар учун; 98—99,9 % 5 мкм дан катта бўлган заррачалар учун.

8.7-§. ФИЛЬТРАЛАР

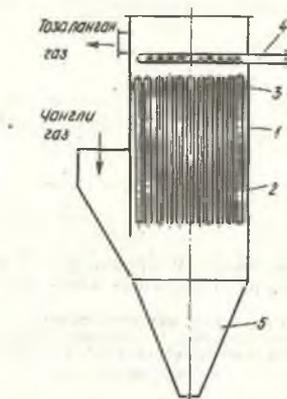
Газларни чангдан филтрлаш йўли билан тозалаш турли говаксион тўсиқлардан фойдаланишга асосланган. Филтрлаш жараёнида говаксимон тўсиқлардан газ ўтиб кетади, газ таркибидаги муаллақ ҳолида бўладиган қаттик заррачалар

фильтр тўсиқнинг юзасида тутиб қолинади. Фильтрловчи тўсиқ сифатида пахтали ип ва жун материаллар, сочилувчан (қум, активланган кўмир) ва керамик материаллар ишлатилади. Газларни тозалаш учун энгли фильтрлар кўп ишлатилади. Энгли фильтрларда босим кучининг қаршилиги 60—120 мм сув устунига тенг. Энгли қобик остидаги трубага тўсиқларга маҳкамланади (8.18- расм). Чангли газ фильтрнинг пастки қисмидан кириб энгли тўкималарда чанглардан тозаланиб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Чанглар ва майда заррачалар фильтр энглирининг тешиқларида қолади. Вақт ўтиши билан энгларда чанг қатлами кўпайиб фильтр тўсиқларнинг қаршилиги ортиб кетади ва натижада қурилманинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун вақт-вақти билан силкитувчи махсус мослама ёрдамида фильтр энглари зарб билан силкитилиб, энгли устидаги чанглар тўкилади ва шнек орқали ташқарига чиқарилади. Баъзи фильтрлар механик



8.18- расм. Энгли фильтр:

1, 3 — газ кирадиган ва чиқадиган штуцерлар; 2 — матодан тайёрланган энглар; 4 — тебрантирувчи қурилма; 5 — энгларнинг пастки қисми маҳкамланган тўсиқ; 6 — чанг тушадиган бункер; 7 — чанг узатадиган шнек.



8.19- расм. Металл-керамикадан тайёрланган патронли фильтр:

1 — қобик; 2 — фильтр элементлари; 3 — патронларни маҳкамлаш учун тўсиқ; 4 — регенерация учун сиқилган ҳаво кирувчи штуцер; 5 — чанг тушадиган бункер.

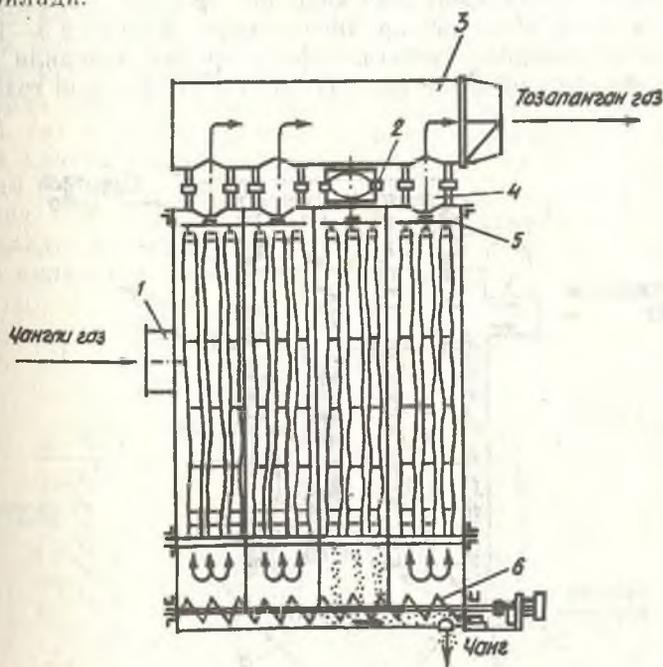
силкитиш билан бирга, уларнинг энглари тозаланаётган газнинг йўналишига қарама-қарши йўналишда ҳаво билан пуфлаб тозаланади. Бундай фильтрда энгларнинг диаметри 20—25 см, узунлиги 2,5—4 м бўлиб, бир неча секциялардан иборат бўлади. Энгли фильтрларда юқори температурали газ аралашмаларини тозалаш мумкин эмас. Агар фильтрнинг энглари пахтали газламадан бўлса, у 65°C да, жунли газламадан бўлса 80—90°C гача ишлайди. Энгли фильтрларда майда дисперс газ аралашмаларининг тозаланиш температураси 60—70°C га тенг.

Камчилиги: энгли тез ишдан чиқади ва тешиқлари беркилиб қолади; юқори температурадаги ва нам газларни тозалаш мумкин

эмас. Юқори температурали (қизиган) газларни тозалаш учун фильтрнинг енглари жунли газламаларга капрол толаларидан қушиб тайёрланади. Бундан ташқари, фильтр енглари сифатида шиша толали газламалар ҳам ишлатилади.

Юқори температурадаги чангли газларни тозалаш учун ғоваксимон патронлари металлокерамикадан тайёрланган фильтрлар ишлатилади.

8.19- расмда металлокерамик материалдан тайёрланган фильтрловчи элементлар (патронлар) тўсикка маҳкамланган. Чангли газ фильтрловчи элементлардан ўтиб, тозаланган газ қурилманинг юқориги қисмидан чиқиб кетади. Чанглар фильтрловчи элементларнинг устки юзасида ва тешиқларида ушланиб қолади. Фильтрловчи элементларнинг ғовақлари тўлиб қолгандан кейин улар сиқилган ҳаво ёрдамида ёки тозаланган газ билан нуфлаб регенерация қилиниб, яна қайтадан тозалаш цикли давом эттирилади.



8.20- расм. Кўп секцияли енгли фильтр:

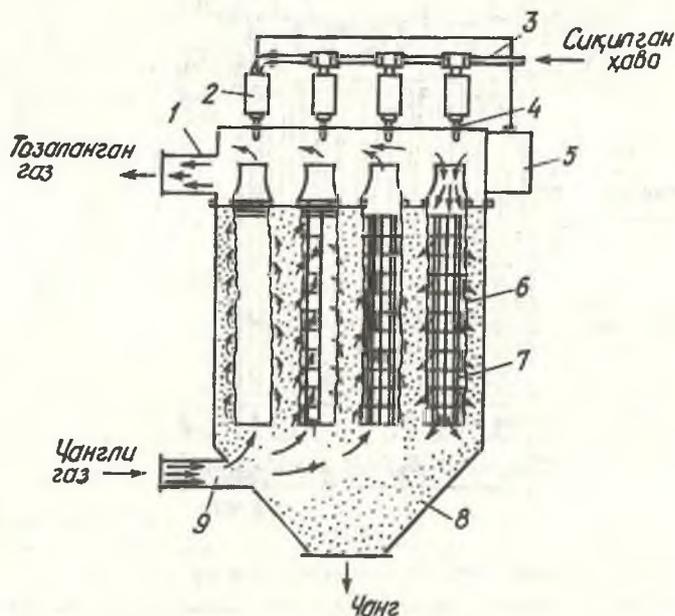
1 — чангли газ кирадиган штуцер; 2 — регенерация қилиш учун тебрантирувчи қурилма; 3 — тозаланган газ чиқадиган штуцер; 4 — секциянинг қляпани; 5 — енглар осиб қўйиладиган рама; 6 — чангни узатиш учун шнек.

8.20- расмда кўп секцияли енгли фильтр кўрсатилган ҳар бир секцияда бир неча енглар бор. Чангли газ секцияларнинг пастки қисмидан енгларнинг ичига киради, фильтрловчи мато орқали ўтиб тозаланади, сўнгра қурилманинг юқориги қисмидаги штуцер

орқали ташқарига чиқарилади. Чанг аста-секин энгларнинг ички юзасига утириб, филтлдаги босим йўқолишини кўпайтиради. Чанг қатламининг баландлиги тегишли қийматга етганда, газ берилиши тўхтатилади, тебрантирувчи курилма ёрдамида чанг энглардан ажралиб бункерга тушади. Сўнгра энгларни регенерация қилиш учун тоза ҳавонинг тескари оқими юборилади. Бу оқим филтр тўсиқдан ўтиб, унинг филтрлаш қобилиятини тиклайди. Ушбу филтрнинг иш режими автоматик бошқарилади.

Энгли филтрлар одатда босим қиймати 2,5 кПа гача ишлайди. Филтрларнинг айрим турларида катта босим ёки вакуум қўлланилади. Масалан, Г4—5ФМ филтри 20 кПа гача босим билан, ФРУ, ФВС-45 ва ФРН-30 филтрлари эса сийракланиш режимида ишлайди.

8.21- расмда кўрсатилган филтрнинг энгларини тебрантириш, ўрнига сиқилган ҳаво билан 0,1—0,2 с давомида импульсли пуфлаш ишлатилади. Сиқилган ҳавонинг ортиқча босими 400—800 кПа га тенг. Импульсларнинг частотаси минутига 5—10 та. Филтрловчи материал сифатида фетрлар ёки лавсанли мато қўлланилади. Бундай филтрлар НИИОГАЗ (Газларни тозалаш



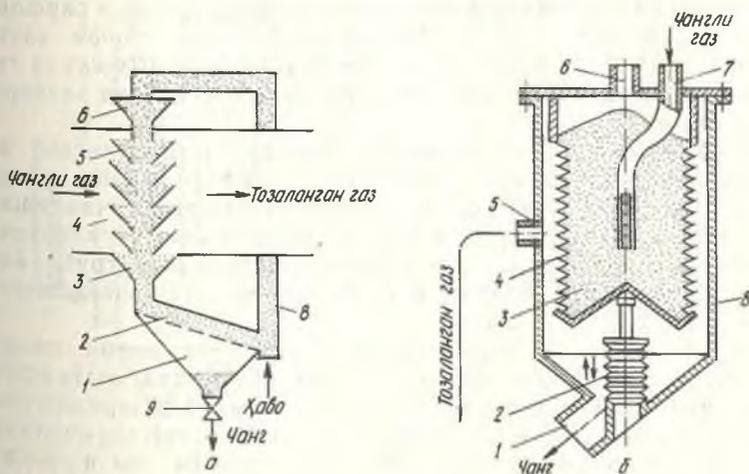
8.21- расм. Импульсли пуфланадиган энгли филтр:

1 — тозаланган газ чиқадиган штуцер; 2 — сиқилган ҳаво клапани; 3 — сиқилган ҳаво коллектори; 4 — сиқилган ҳаво бериладиган сопло; 5 — регенерацияли автоматик бошқарадиган асбоб; 6 — энглар; 7 — каркас; 8 — чанг йиғиладиган бункер; 9 — чангли газ кирадиган штуцер.

илмий-тадқиқот институти) да ишлаб чиқилган ва кимё, озиқ-овқат, металлургия саноатида ҳамда қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда ишлатилади. Ишлатилган филтрларни регенерация қилиш, яъни дастлабки хоссаларини тиклаш, секцияларнинг ишини тўхтамасдан амалга оширилади.

Юкори температурали ва физик-кимёвий усуллар билан газларни чангдан тозалаш учун донадор материал қатламга эга бўлган филтрлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай филтрларда насадка сифатида шағал, қум, шлак, қипиқ, резина ва пластмассали майда увоклар, турли ишлаб чиқариш чикиндилари ишлатилиши мумкин. Айрим пайтда филтр тўсик билан ушлаб қолиниши лозим бўлган материал бир хил бўлади. бундай шароитда филтр регенерация қилинмайди, филтрлаш жараёни тамом бўлгандан сўнг донадор филтр ушлаб қолинган материал билан бирга ишлаб чиқаришга қайтарилади.

8.22- расмда донадор филтрнинг икки хил кураилмаси кўрсатилган. Вибротурли филтрда (8.22- расм, а) регенерация донадор қатламнинг ҳаракати давомида узлуксиз давом этади. Бундай филтрда донали қатлам бункер (6) дан пастга қараб ҳаракат қилиб, газ таркибидаги чанг заррачаларини тутати. Вибротўр (2) да чангни ушланган заррачалари ажралиб, бункер (1) га тушади. Чангдан тозаланган филтрловчи донадор материал механик ёки пневматик конвейер (8) ёрдамида бункер (6) га юборилади. Асосий камчилиги — филтрловчи доналарни циркуляция қилиш системасининг ўлчами катта.



8.22- расм. Донали филтрлар:

а — вибротўрли; 1 — бункер; 2 — вибротўр; 3 — донали филтр тўсик; 4 — чангли ва тозаланган газ йўли; 5, 7 — тешиклари бўлган тўсиклар; 6 — янги донали материал учун бункер; 8 — конвейер; 9 — ушланган чанглари узатиш учун затвор; б — сифонли; 1 — ишлатилган доналарни узатиш учун штуцер; 2 — сифон; 3 — донали филтрловчи тўсик; 4 — панжара; 5 — тозаланган газ учун штуцер; 6 — янги донали материални юклаш учун штуцер; 7 — чангли газ учун штуцер; 8 — қобик.

8.22- расм, б да кўрсатилган қурилмада филтрловчи доналар тутиб қолинган чанг билан бирга ишлаб чиқаришга қайтарилади. Бундай филтр масалан, асбест саноатида ишлатилади.

Мутахассислар томонидан филтрларнинг бир қатор янги самарали турлари ишлаб чиқилди. Жумладан, НИИОГАЗ да филтр-циклон яратилди. Бу қурилманинг ишлаши икки боскичдан иборат бўлиб, газ биринчи боскичда (филтрда) катта ўлчамли чанг фракциясидан, иккинчи боскичда (циклонда) эса кичик ўлчамли чанг заррачаларидан тозаланади.

8.8-§. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАЛАР

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдон таъсирида чўктириш бошқа чўктириш усулларига қараганда кўп афзалликларга эга. Чўктириш қурилмалари — циклонларда, англи филтрларда, скрубберларда оғирлик кучи ва марказдан қочма кучлар таъсирида ўта майда заррачаларни чўктириш мумкин эмас.

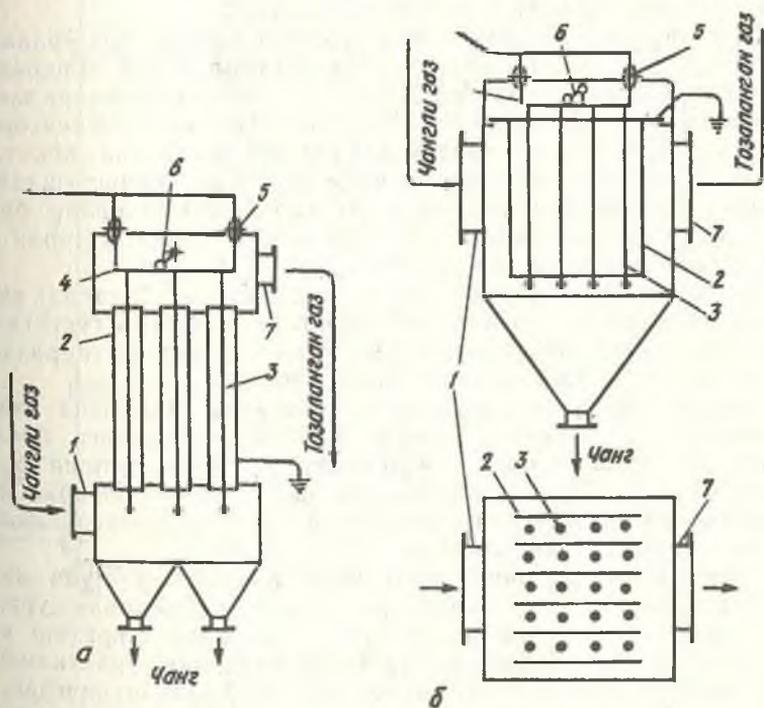
Электрофилтрлар ёрдамида газ таркибидаги энг кичик, жумладан субмикронли (ўлчами 0,005 мкм дан катта) заррачаларни ушлаш мумкин. Бундай қурилмаларда газ аралашмаларини ажратиш даражаси 99,9 % гача етади. Электрофилтрларнинг гидравлик қаршилиги $100 \div 150$ Па гача бўлади, чангли газнинг температураси -20 дан $+500^\circ\text{C}$ гача бўлиши мумкин. Электрофилтрнинг камчилиги: юқори металл ушлашлик; ўлчамлари катта; иш режимининг ўзгаришига таъсирчан; чангнинг портлаш ва ўт олиш хавфсизлигини таъминлашга юқори капитал сарфлар зарурлиги сабабли, электрофилтрдан газнинг сарфи катта бўлганда фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Шу кунда газ бўйича иш умумдорлиги 1 млн м^3 /соат дан кўп бўлган электрофилтрлар мавжуд.

Электрофилтрлар нурланувчи (манфий зарядланган) ва чўктирувчи (мусбат зарядланган) электродлардан ташкил топган бўлади. Иккита электродлар ўртасида юқори кучланишли ($U = 35000 \div 70000$ В) электр майдони ҳосил бўлади. Нурланувчи электрод сим шаклида, чўктирувчи электрод эса труба ёки пластина шаклида гайёрланади. Ушбу электродлар оралигидаги масофа 100—200 мм бўлади.

Таркибида қаттиқ заррачалари бўлган газ оқими юқори кучланишли электр майдондан ўтганда ионизация ҳодисасига учрайди, яъни унинг молекулалари мусбат ва манфий зарядланган заррачаларга ажралади. Бунда бутунлай ионлашган газ қатлами чўгланиб, нур ва чарсиллаган овоз чиқаради. Бу сим нурланувчи электрод деб аталади. Манфий зарядланган чангнинг электронлари нурланувчи электроддан мусбат зарядланган чўктириш электродларига томон ҳаракат қилганда ўз йўлида қаттиқ заррачаларга учрайди ва уларни зарядлайди. Зарядланган заррачалар чўктириш электродига яқинлашганда ўзининг зарядини беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади.

Электросфильтрлар юкори кучланишли ўзгармас токда ишлайди, чунки ток ўзгарувчан бўлганда зарядланган заррачалар ўз ҳаракат йуналишини ўзгартириб, чўктириш электродларида чўкишга улгуролмай, газ билан қурилмадан чиқиб кетиши мумкин. Ўзгармас ток кучланиши 220—500 В бўлган ўзгарувчан токдан кучайтирувчи трансформатор ва тўғрилагич ёрдамида олинади. Электрофильтрнинг нурланувчи электродлари ток манбаининг манфий кутбига, чўктирувчи электродлари эса мусбат кутбига уланади.

Чўктириш электродининг тайёрланишига қараб трубали ва пластинали электрофильтрлар бўлади, бироқ уларнинг ишлаш режимида принципал фарк йўқ. Электрофильтрнинг схемаси 8.23-расмда кўрсатилган. Масалан, трубали электрофильтра (8.23-расм, а) трубаларнинг диаметри 150—300 мм бўлиб, уларнинг ўртасидан 2 мм ли симлар тортилган, улар нурланувчи электрод вазифасини бажаради. Тозаланиши керак бўлган газ қурилмасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг ичидан пастдан юқорига қараб ҳаракат қилади ва тозалангандан сўнг



8.23- расм. Электрофильтр

1 — труба; 2 — пластина; 3 — чўктирувчи электродлар; 4 — рама; 5 — изоляторлар; 6 — нурланувчи электродлар; 7 — тозаланган газ чиқадиган штуцер.

юқоридан чикиб кетади. Манфий электродлар (яъни симлар) умумий рамага осилган бўлиб, рамалар эса изоляторларнинг устига ўрнатилган. Электродларга ўтириб қолган чанглар махсус механизмлар ёрдамида тебрантирилиб, қурилманинг пастки конус қисмига туширилади.

8.24-расмда ШМК маркали бир секцияли вертикал нам электрофильтрлар кўрсатилган. Бу фильтр газни сульфат кислота туманидан, селен ва мишьяк заррачаларидан тозалаш учун ишлатилади. Пулатдан ясалган цилиндрсимон қобик (7) нинг ички қисми кислотага бардошли гишт ва полиизобутилен юпка қатлами билан қопланади. Қурилманинг қопқоғи қўрғошин листи билан химоя қилинган. Қўрғошинли чўктирувчи электродлар (6) олти қиррали труба қўринишида тайёрланган. Бу электродлар қурилманинг юқори қисмига маҳкамланган панжара (5) га осиб қўйилган. Панжара пулатдан тайёрланиб, қўрғошин билан қопланган. Олти қиррали хар бир трубанинг ўки бўйлаб эркин ҳолатда нурланувчи электрод (4) осиб қўйилган. Нурланувчи электрод кўндаланг кесими юлдузча шаклига эга бўлган симдан тайёрланган. Бу симнинг юқориги қисми қурилма қобиридан изоляция қилинган рамага бириктирилиб, юк осиб қўйилган.

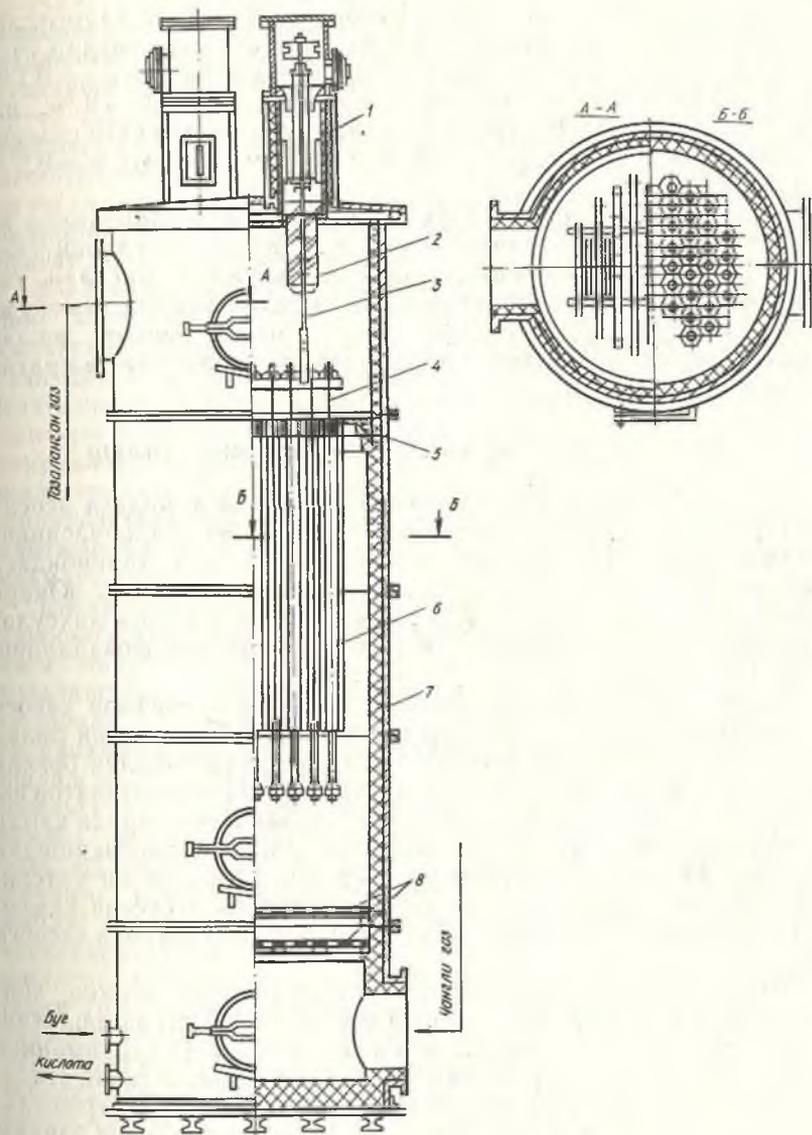
Нурланувчи электродларнинг рамаси тортгич (3) ёрдамида изолятор (2) га осиб қўйилган, изоляторлар эса қопқоқнинг қутичаларида маҳкамланган. Изоляторларнинг қутичалари электр иситгич билан таъминланган. Ушбу иситгичлар конденсаторлар юзасида намликнинг конденсацияланиб қолишини йўқотади. Қобик (7) газнинг кириши ва чиқиши, бугъни бериш, ушланган кислота ва шламни узатиш учун тегишли штуцерлар билан таъминланган. Қобикнинг пастки қисмида икки қаторли газ тарқатувчи панжара (8) ўрнатилган.

Йиғилган кислота қобикнинг пастки қисмида тўпланади ва иш давомида қурилмадан чиқариб турилади. Қурилма тўхтатилиб, иссиқ сув билан ювилгандан сўнг, йиғилган каттик заррачалар шлам сифатида ташқарига чиқарилади.

Электр чўктириш қурилмасининг ишлаш принципи чангли газларнинг хусусияти, таркиби ва температурасига боғлиқ. Температура ва ҳавонинг молекуляр оғирлиги ортиши билан системадан ўтаётган токнинг миқдори кўпайиб боради. Чанг заррачаларининг катталиги камайиши билан қурилманинг фойдали иш коэффициентлари камаёди.

Электрофильтрларнинг гидравлик қаршилиги жуда кичик (10—15 мм сув устуни). Бундай фильтрлар энг самарали қурилма ҳисобланади, катта ҳажмдаги чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Электрофильтрлар электродларнинг ўрнатилишига кўра горизонтал ва вертикал ҳолда бўлади. Худди шунингдек, газ аралашмаси таркибидаги заррачаларнинг ҳолатига кўра қуруқ ва нам электрофильтрлар бўлиши мумкин.

Электр чўктириш қурилмасининг тузилиши содда бўлса ҳам, унда борадиган жараён анча мураккабдир. Шу сабабли электр чўктириш қурилмаларини умумий ҳисоблаш усули ишлаб чи-



8.24- расм. Трубаи нам электрофильтр:

- 1 — копоққоқ кутичаси; 2 — изоляторлар; 3 — тортиғич; 4 — нуриланувчи электродаар; 5 — паишжара;
 6 — чуқтирувчи электродаар; 7 — цилиндрсимон қобиқ; 8 — икки қаторли газ таксимловчи панжара.

қилмаган. Ҳисоблаш пайтида тажрибадан олинган маълумотлардан фойдаланилади. Масалан, труба типдаги қурилмалар учун ток кучи $I = 0,3 \div 0,5$ мА/м, пластинали қурилмалар учун $I = 0,1 \div 0,3$ мА/м олинади; майдон қучланганлиги 450 кВ/м, иш қучланиши $35 \div 70$ кВт, труба типдаги қурилмалар учун газнинг тезлиги $\omega = 0,8 \div 1,5$ м/с, пластинали қурилмалар учун $\omega = 0,5 \div 1$ м/с олинади.

Электрофилтрлар газ таркибида ўта майда заррачалар ва томчиларнинг концентрацияси кам бўлган пайтда уларни тўла тозалаш учун ишлатилади. Бундай қурилмалар, масалан, газ таркибидаги қимматбаҳо металлларни ажратиш олишда, цемент ва кўмир чангини тутиб қолиш учун, сульфат кислота ишлаб чиқаришда газ таркибидаги кислота томчиларини ажратиш олишда ишлатилади.

8.9-§. ГАЗ ТОЗАЛАЙДИГАН ҚУРИЛМАЛАРНИ ТАНЛАШ

Газ тозалайдиган қурилмаларни танлашда қуйидаги асосий факторларга аҳамият берилиши керак: чанг заррачасининг ўлчами, унинг тозаланиши лозим бўлган газ таркибидаги концентрацияси ва зарур бўлган тозалаш даражаси. Юқори концентрацияли газлар учун ҳамда қаттиқ фаза муҳим маҳсулот ҳисобланганда, тозалашнинг қуруқ усулларида фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Газни тозалаш даражасига бўлган талаб атмосфера ҳавоси тозаланишининг зарур бўлган санитария-гигиена нормалари билан ёки технология ускуналарининг ишлаш шартлари билан боғлиқ бўлади. Газларни тозалаш, масалан, компрессор ва вентилятор иш органлари ейилишининг олдини олиш имкониятини беради ҳамда реактордаги контакт бўлаётган массаларни ифлосланишдан сақлайди. Газни тозалайдиган қурилмаларни ва уларнинг материалларини танлашда газ таркибида намлик ва агрессив компонентларнинг борлиги, уларнинг микдори ва температураси ҳисобга олинади.

Тозалашнинг тегишли даражаси қурилманинг типини, конструкциясини ва ўлчамини тўғри танлаш ва уни тўғри ишлатиш орқали эришилади. Чанг ушлашни яхшилаш одатда қурилманинг ўлчамини ёки унинг энергия ҳажминини кўпайтиришни талаб этади. Масалан, енгли филтрлар, чўктириш камералари, электрофилтрлар газнинг тезлиги кам бўлганда, яъни қурилманинг ўлчами катта бўлганда анча самарали ишлайди. Циклонлар, катта тезлик билан ишлайдиган газ ювувчи қурилмалар, зарба беришга асосланган скрубберлар самарали чанг ушлаш режимида ишлаганида катта гидравлик қаршиликка эга бўлади ёки суюқликнинг катта сарфини талаб қилади. Бунда энергия сарфи кўпаяди. Аралашма таркибидаги чанг заррачалари қанчалик кичик бўлса ва газни тозалаш даражаси қанчалик юқори бўлса, газни тозалайдиган қурилмаларни қуриш ва уларни ишлатишга шунчалик катта маблағ талаб қилинади.

Чанг ушлагичнинг тегишли типини танлаш найтида унинг имкониятлари ҳисобга олиниши керак. Чангли камералар, циклонлар ва бошка инерцион чанг ушлагичлар арзон ва тузилиши оддий, бироқ улар ёрдамида газ таркибидаги фақат катта заррачаларни ушлаш мумкин. Шу сабабдан бундай чанг ушлагичлар янчиш машиналарининг аспирацион қурилмаларида, сочилувчан материалларни узатиш системаларида, электрофильтр ва энгли фильтрлардан олдин ҳамда ушланган чанг заррачаларини уларнинг ўлчамларига кўра фракцияларга ажратиш керак бўлганда ишлатилади.

2—5 мкм ўлчамли заррачаларни ушлайдиган кўпчилик нам чанг ушлагичларни, газларни қўшимча совитиш, намлаш талаб қилинганда ёки уларни эрувчан компонентлар (аммиак, сульфид газ) дан тозалаш керак бўлганда, ишлатиш яхши натижа беради. Катта тезлик билан ишлайдиган газ ювувчи қурилмалар (масалан Вентури скруббери) ишлатилганда газ таркибидаги жуда кичик заррачаларни ушлаш имконияти пайдо бўлади, бироқ уларни ишлатиш учун кўп энергия талаб қилинади. Нам чанг ушлагичлар ишлатилганда ҳосил бўлган суспензиялар (пульна ва шламлар) ни қайта ишлашга ҳамда қурилмаларни коррозиядан ҳимоя қилишга аҳамият берилади.

Энгли фильтрлар ва электрофильтрлар ёрдамида газ тозалашнинг юқори даражасига эришилади, бунда аралашма таркибидаги майда заррачалар ҳам тутиб қолинади, бироқ газни тозалашдан олдин маълум температурагача иситиш талаб қилинади. Электрофильтрлар учун чангнинг электр ўтказувчанлиги, ўлчамлари, ёпишқоқлиги ва кимёвий таркибига кўра, оптимал ишлаш шарт шароитлари танлаб олинади (газнинг температураси, намлиги, тезлиги; электродларнинг конструкцияси ва силкитиш усули). Электрофильтрнинг гидравлик қаршилиги кам, газ тозалаш жараёнини автоматлаштириш имконияти эса жуда катта. Ўлчамига кўра электрофильтр энгли фильтрга яқин, бироқ катта маблағ талаб қилади, ишлатиш эса анча арзонга тушади. Қуруқ электрофильтрни газнинг температураси 400—500° С га етгунча ишлатиш мумкин. Бунда электрофильтрларни катта ҳажмдаги газни ($0,5 \cdot 10^6$ м³/соатдан бошлаб) тозалашда ишлатиш яхши иқтисодий самара беради. Иш унумдорлиги кичик бўлганда электрофильтрлардан фойдаланиш солиштирма маблағ сарфини асоссиз ортиб кетишга олиб келади. Бундан ташқари портлаб кетиш хавфи бўлган газ аралашмаларини ажратишда электрофильтрлардан фойдаланиш мумкин эмас. Бундай шароитда энгли фильтрлар ёки нам чанг ушлагичлар ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Зарур бўлган тозалаш даражасига кўра газ аралашмаларини ажратиш бир ёки бир неча босқичли бўлиши мумкин. Газларни бирламчи, яъни катта ўлчамли чанг заррачаларидан ажратишда, бир босқичли тозалаш усулидан фойдаланилади. Бирламчи тозалашни амалга ошириш қийинчилик тугдирмайди. Газларни ўта майда заррачалардан ажратишда тозалашнинг кўп босқичли

(одатда икки босқичли) схемасидан фойдаланилади. Бирламчи тозалаш учун бир ёки бир неча чанг ушлағич қурилмалари ишлатилади, сўнгра нозик тозалаш қурилмаларидан фойдаланилади. Газларни нозик тозалаш қурилмаларига юқори талаблар қўйилади. Одатда газларни нозик тозалаш мақсадида энгли фильтрлар, электрофильтрлар ва уюрмали чанг тутғичлар ишлатилади.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 8.1. Газларни чангдан тозалашнинг аҳамияти. Газсимон аралашмаларни қандай усуллар билан ажратиш мумкин?
- 8.2. Чанг чуқртириш камераларининг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг самарали ишлаши учун қандай талабларни бажариш керак?
- 8.3. Циклонларнинг ишлаши қандай принципга асосланган? НИИОГАЗ ва ВЦНИИОТ конструкцияли циклонлар ўртасида қандай фарқ бор?
- 8.4. Батарсяли циклонлар. Циклон элементлари қандай тузилган?
- 8.5. Уюрмали чанг ушлағичнинг ишлаш принципи нимадан иборат? Бундай қурилмалар қандай афзалликларга эга?
- 8.6. Ротацион чанг ушлағичнинг тузилиши. Бундай қурилмалар қаторига нима сабабдан турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар киради?
- 8.7. Газ юувчи қурилмаларнинг турлари. Уларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
- 8.8. Суюқликни сочиб берувчи ва насадкали скрубберларнинг ишлаш принциплари ва уларнинг тозалаш даражаси.
- 8.9. Тарелкали газ юувчи қурилмалар неча турга бўлинади? Ушбу скрубберларнинг иш режими қайси кўрсаткич орқали белгиланади?
- 8.10. Вентури скрубберининг тузилиши. Унинг тозалаш даражаси. Газ тезлигининг ўзгариш чегаралари.
- 8.11. Мавҳум қайнаш қатламли скруббернинг тузилиши. Насадкалар қандай материаллардан тайёрланиши мумкин? Қурилманинг асосий афзаллиги нимадан иборат?
- 8.12. Айланиб юрвчи насадкали скрубберлар. Уларнинг асосий характеристикалари.
- 8.13. Газларни фильтрлаш йўли билан тозалашнинг моҳияти. Фильтрловчи тўсик сифатида қандай материаллар ишлатилади? Энгли фильтрининг тузилиши.
- 8.14. Донатор қатламли фильтрларнинг асосий турлари. Уларнинг асосий афзаллиги ва камчилиги нимадан иборат?
- 8.15. Электрофильтрнинг ишлаш принципи. Нима учун электрофильтрлар икки турга бўлинади? Улар қандай шароитларда ишлатилади? Бундай фильтрларни ҳисоблаш мумкинми?
- 8.16. Саноатда неча босқичли тозалаш қурилмалари ишлатилади? Чанг тутғични танлаш принципи нималардан иборат?
- 8.17. Газларни тозалайдиган қурилмаларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?
- 8.18. Чангларни қурилмадан тушириш ва уларни узатиш учун қандай қурилмалар ишлатилади?

ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛАРИ

9-БОБ. ИССИҚЛИК УТКАЗИШ АСОСЛАРИ

9.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Ҳар хил температурага эга бўлган жисмларда иссиқлик энергиясининг бирдан иккинчисига ўтиши *иссиқлик алмашилиш жараёни* деб аталади. «Иссиқ» ва «совуқ» жисмларнинг температураси ўртасидаги фарқ иссиқлик алмашилишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади. Температуралар фарқи бўлганда термодинамиканинг иккинчи қонунига кўра иссиқлик энергияси температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст бўлган жисмга ўз-ўзидан ўтади. Жисмлар ўртасидаги иссиқлик алмашилиши эркин электрон, атом ва молекулаларнинг ўзаро энергия алмашилиши ҳисобига содир бўлади. Иссиқлик алмашилишида қатнашадиган жисмлар *иссиқлик ташувчилар* деб аталади. Иссиқлик ўтказиш жараёнлари (иситиш, совитиш, бугларни конденслаган, буглатиш) кимё саноатида кенг тарқалган. Иссиқлик тарқалишининг учта принципиал тури бор: иссиқлик ўтказувчанлик, конвекция ва иссиқликнинг нурланиши.

Бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг тартибсиз ҳаракати натижасида юз берадиган иссиқликнинг ўтиш жараёни *иссиқлик ўтказувчанлик* (ёки кондукция) дейилади. Газ ва томчилли суюқликларда молекулаларнинг ҳаракати натижасида ёки қаттиқ жисмларда кристалл панжарадаги атомларнинг тебраниши таъсирида ёхуд металлларда эркин электронларнинг диффузияси оқибатида иссиқлик ўтказувчанлик жараёни содир бўлади. Қаттиқ жисмларда ва газ ёки суюқликларнинг юпқа қатламларида иссиқлик асосан иссиқлик ўтказувчанлик орқали тарқалади.

Газ ёки суюқликларда макроскопик ҳажмларнинг ҳаракати ва уларни аралаштириш натижасида юз берадиган иссиқликнинг тарқалиши *конвекция* деб аталади. Конвекция икки хил (эркин ва мажбурий) бўлади. Газ ёки суюқлик айрим қисмларидаги зичликнинг фарқи натижасида ҳосил бўладиган иссиқликнинг алмашилиши табиий ёки эркин конвекция дейилади. Ташқи кучлар таъсирида (масалан, суюқликларни насослар ёрдамида узатиш ёки уларни механик аралаштиргичлар билан аралаштириш пайтида) мажбурий конвекция пайдо бўлади.

Иссиқлик энергиясининг электр магнит тўлқин ёрдамида тарқалиши *иссиқликнинг нурланиши* деб юритилади. Ҳар қандай

жисм ўзидан энергияни нурлатиш қобилиятига эга. Нурланган энергия бошқа жисмга ютилади ва қайтадан иссиқликка айланади. Натижада нур билан иссиқлик алмашилиш жараёни содир бўлиб, у ўз навбатида нур чиқариш ва нур ютиш жараёнларидан ташкил топади.

Ҳақиқий шароитларда иссиқлик алмашилиш алоҳида олинган бирор усул билан эмас, балки бър неча усуллар ёрдамида юзага келади, яъни мураккаб иссиқлик ўтказиш жараёнлари амалга оширилади.

Курилмаларнинг ишлаш режимига кўра жараёнлар икки хил (тургун ва нотургун) бўлади. Узлуксиз ишлайдиган курилмаларнинг турли нукталаридаги температура вақт давомида ўзгармайди, бундай курилмаларда кетаётган жараён тургун бўлади. Нотургун жараёнларда (даврий ишлайдиган иссиқлик алмашилиш аппаратларида) температура вақт давомида ўзгариб туради (масалан, иситиш ёки совитиш пайтида).

9.2-§. ИССИҚЛИК БАЛАНСИ

Иссиқлик алмашилиш пайтида температураси юқори бўлган жисмнинг берган иссиқлик миқдори (Q_1) температураси паст бўлган жисмни иситиш учун (Q_2) сарф бўлади. Иссиқликнинг йўқолиши ҳисобга олинмаган ҳолатда, иссиқлик баланснинг тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Q = Q_1 = Q_2, \quad (9.1)$$

бу ерда Q — курилманинг иссиқлик сарфи, Ж.

Температураси юқори бўлган иссиқлик ташувчининг миқдори G , унинг курилмага киришдаги иссиқлик ушлашини $J_{1к}$ ва курилмадан чиқишдаги иссиқлик ушлашини $J_{1к}$, температураси паст бўлган иссиқлик ташувчининг миқдорини G_2 , унинг бошланғич иссиқлик ушлашини $J_{2б}$ ва охириги иссиқлик ушлашини $J_{2к}$ билан белгилаймиз. Бундай иссиқлик баланснинг тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Q = G_1(J_{1б} - J_{1к}) = G_2(J_{2к} - J_{2б}). \quad (9.2)$$

Агар иссиқлик алмашилиш жараёни иссиқлик ташувчиларнинг агрегат ҳолати ўзгармаган шароитда содир бўлса, иссиқлик ташувчи жисмларнинг иссиқлик сақлаши (ёки энтальпияси) солиштирма иссиқлик сифими c ни температура t га кўпайтмасига тенг бўлади:

$$J = ct. \quad (9.3)$$

Солиштирма иссиқлик сифими — модда бирлиги температура-сини 1 К га ўзгартириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдоридир; ўлчов бирлиги Ж/(кг. К). Бунда иссиқлик баланснинг тенгламаси:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1б} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2б}) \quad (9.4)$$

бу ерда c_1 ва c_2 — температураси юкори ва паст бўлган иссиқлик ташувчиларнинг ўртача солиштирма сизимлари, $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; t_0 ва t_k иссиқлик ташувчиларнинг бошланғич ва кейинги температураси.

Агар иссиқлик алмашиниш иссиқлик ташувчининг агрегат ҳолати ўзгарадиган шароитда (буғнинг конденсланиши, суюқликнинг буғланиши ва ҳоказо) содир бўлса, иссиқлик балансини тузиш пайтида жараён давомида юз берадиган қўшимча иссиқлик эффекти ҳисобга олинади. Масалан, тўйинган буғнинг конденсланиш жараёни бўйича иссиқлик баланси тузилаётган пайтда J_{16} учун конденсаторга кираётган буғнинг иссиқлик сақлаши, J_{1k} учун эса қурилмадан чиқаётган буғ конденсатининг иссиқлик сақлаши ҳисобга олинади. Агар ўта қиздирилган буғнинг конденсланишини кўриб чиксак, бундай шароитда қурилманинг иссиқлик сарфи Q уч қисмдан ташкил топиши мумкин: 1) буғни t_0 температурасидан тўйиниш температураси $t_{\text{тўй}}$ гача совитилганда ажралиб чикқан иссиқлик $Q_{\text{қизд}}$, 2) конденсланиш иссиқлик $Q_{\text{қонд}}$; 3) конденсатни совитиш пайтида ажралиб чикқан иссиқлик $Q_{\text{сов}}$. Бундай шароитда иссиқлик балансининг тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\begin{aligned} Q &= G(J_{16} - J_{1k}) = Q_{\text{қизд}} + Q_{\text{қонд}} + Q_{\text{сов}} = \\ &= Gc_0(t_0 - t_{\text{тўй}}) + Gr + Gc_k(t_k - t_{\text{сов}}); \end{aligned} \quad (9.5)$$

бу ерда c_0 ва c_k — буғ ва конденсатнинг солиштирма иссиқлик сизими, $\text{Ж} (\text{кг} \cdot \text{К})$; r — конденсланиш (буғланиш) нинг солиштирма иссиқлиги, $\text{Ж}/\text{кг}$; t_k ва $t_{\text{сов}}$ — конденсатнинг дастлабки ва совитилгандан кейинги температураси, К .

9.3-§. ИССИҚЛИК ЎТКАЗУВЧАНЛИК

Иссиқлик ўтказувчанликнинг механизми жисмларнинг агрегат ҳолатига боғлиқ бўлади. Суюқликлар ва қаттиқ жисмлар — диэлектрикларда иссиқлик ўтказувчанлик ёнма-ён жойлашган заррачалар атом ва молекулаларининг иссиқлик ҳаракати таъсирида энергия алмашинишига асосланган. Металларда иссиқликнинг алмашиниши асосан эркин электронларнинг диффузияси орқали боради. Газларда иссиқлик ўтказувчанлик молекула ва атомларнинг ўзаро тўқнашуви ва уларнинг диффузияси таъсирида юз беради.

Температура майдони ва градиенти. Жисмнинг ҳамма нукталаридаги температура қийматларининг йиғиндиси температура майдонини ташкил этади. Температура майдони турғун ва нотурғун бўлиши мумкин. Агар хар бир нуктадаги температура вақт давомида ўзгармаса, бундай температура майдони турғун бўлади. Мабодо температура вақт ўтиши билан ўзгарса, ундай майдон нотурғун *температура майдони* деб юритилади.

Температура майдони умумий ҳолатда қуйидаги функционал боғлиқлик билан ифодаланади:

$$t = j(x, y, \tau). \quad (9.6)$$

бу ерда t — текширилаётган нуктадаги температура; x, y, z — текширилаётган нуктанинг координаталари; τ — вақт.

Координаталарнинг сонига кўра, температура майдони бир ўлчамли, икки ўлчамли ва уч ўлчамли бўлиши мумкин.

Бир хил температурага эга бўлган нукталарнинг геометрик ўрни *изотермик юза* деб юритилади. Температура бир изотермик юзадан иккинчи изотермик юза йўналишига қараб ўзгаради (9.1-расм). Температураларнинг энг кўп ўзгариши изотермик юзаларга ўтказилган нормал чизиқлар бўйича юз беради. Температуралар фарқи (Δt)нинг изотермик юзалар оралигидаги нормал бўйича олинган масофа (Δn) га нисбати температура градиенти ($\text{grad } t$) деб аталади:

$$\text{grad } t = \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (9.7)$$

Температура градиенти нолга тенг бўлмаган тақдирда ($\text{grad } t \neq 0$) иссиқлик оқими юзага келади. Бунда иссиқлик оқимининг йўналиши температура градиенти чизиғи бўйича боради, ammo температура градиентига қарама-қарши йўналган бўлади:

$$q \sim \left(- \frac{\partial t}{\partial n} \right).$$

Фурье қонуни. Бу қонунга кўра, иссиқлик ўтказувчанлик орқали ўтган иссиқлик миқдори dQ температура градиентига ($\frac{\partial t}{\partial n}$), вақтга ($d\tau$) ва иссиқлик оқими йўналишига перпендикуляр бўлган майдон кесими (dF) пропорционалдир, яъни:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau. \quad (9.8)$$

Агар $\frac{Q}{F\tau} = q$ деб олинса, у ҳолда:

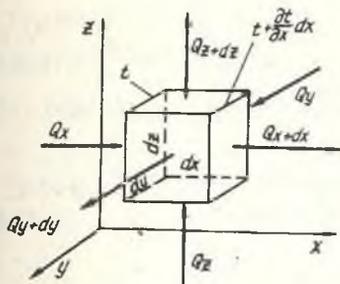
$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}, \quad (9.9)$$

бу ерда q — иссиқлик оқими зичлиги; λ — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини.

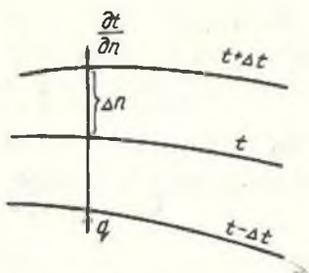
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини қуйидагича ўлчов бирлигига эга:

$$[\lambda] = \left[\frac{dQ}{\partial t \cdot dF \cdot d\tau} \right] = \left[\frac{\text{Ж} \cdot \text{м}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right].$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини иссиқлик алмашилиш юзаси бирлигидан (1 м^2) вақт бирлиги давомида (τ) изотермик юзага нормал бўлган 1 м узунликка тўғри келган температураларнинг бир градусга пасайиши вақтида иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан берилган иссиқлик миқдорини белгилайди.



9.1- расм. Температура градиентини аниқлашга доир.



9.2- расм. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини аниқлаш.

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентининг қиймати модданинг тузилиши ва унинг физик-кимёвий хоссаларига, температура ва бошқа бир қатор катталикларга боғлиқ. Оддий (нормал) температура ва босимда металллар иссиқликни яхши, газлар эса ёмон ўтказади. Масалан, айрим моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти қуйидаги қийматга эга: мис $\lambda = 384$ Вт/(м·К); пўлат $\lambda = 46,5$ Вт/(м·К); бетон $\lambda = 1,28$ Вт/(м·К); томчиلى суюқликлар $\lambda = 0,1 \div 0,7$ Вт/(м·К); газлар $\lambda = 0,006 \div 0,6$ Вт/(м·К); хаво $\lambda = 0,027$ Вт/(м·К).

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси. Бу тенгламани келтириб чиқаришда иссиқлик таркатаётган жисм ёки мухитнинг физик хоссалари (зичлик ρ , иссиқлик сизими c ва иссиқлик ўтказувчанлик λ) ва йўналишлари вақт бўйича ўзгармайди деб қаралади. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш учун жисм ичида қиррали dx , dy ва dz бўлган элементар параллелепипед олинади (9.2-расм).

Параллелепипеднинг чап, орқа ва пастки томонларидан $d\tau$ вақт ичида Q_x , Q_y ва Q_z микдорда иссиқлик қиради, қарама-қарши (ўнг, олд ва юқори) томонларидан эса ўз навбатида Q_{x+dx} , Q_{y+dy} ва Q_{z+dz} микдорида иссиқлик чиқади.

Маълум $d\tau$ вақт давомида параллелепипедга кирган ва ундан чиққан иссиқлик айирмаси қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$dQ = (Q_x - Q_{x+dx}) + (Q_y - Q_{y+dy}) + (Q_z - Q_{z+dz}).$$

Иссиқлик ўтказувчанликнинг Фурье қонунига кўра қуйидагини ёзиш мумкин:

$$Q_x = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dy dz d\tau;$$

$$Q_{x+dx} = -\lambda \frac{\partial(t + \frac{\partial t}{\partial x} dx)}{\partial x} dy dz d\tau = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} dy dz d\tau -$$

$$\lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz d\tau.$$

Ўз навбатида

$$Q_x - Q_{x+dx} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx dy dz d\tau.$$

Худди шу йўл билан:

$$Q_y - Q_{y+dy} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} dx dy dz d\tau.$$

$$Q_z - Q_{z+dz} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} dx dy dz d\tau.$$

Охирги учта тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини қўшиш натижасида қуйидаги тенглама келиб чиқади:

$$dQ = \lambda \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) dx dy dz d\tau. \quad (9.10)$$

Энергиянинг сақланиш қонунига кўра, иссиқлик миқдорининг фарқи параллелепипед энтальпиясининг ўзгаришига сарфланаётган иссиқлик миқдорига тенг, яъни:

$$dQ = c\rho dx dy dz \frac{\partial t}{\partial \tau} d\tau, \quad (9.11)$$

(9.10) ва (9.11) ифодаларни солиштириш орқали иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини оламиз:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right); \quad (9.12)$$

(9.12) ифодадаги $\frac{\lambda}{c\rho}$ нисбатни a орқали белгилаб, Фурьенинг қўзғолмас мухит учун иссиқлик ўтказувчанлик дифференциал тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (9.13)$$

ёки

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t, \quad (9.14)$$

бу ерда $\nabla^2 t$ — Лаплас оператори.

(9.13) тенгламадаги пропорционаллик коэффициентини a температура ўтказувчанлик коэффициенти деб аталади. Унинг ўлчов бирлиги $\text{м}^2/\text{с}$. Температура ўтказувчанлик коэффициенти жисмнинг иссиқлик инерцион хоссаларини ифодалайди, бир хил шарт-шароитларда температура ўтказувчанлик коэффициенти катта бўлган жисм тезроқ исийди ёки совийди.

Тургун шароитда иссиқлик ўтказувчанлик орқали иссиқлик тарқалса $\frac{\partial t}{\partial \tau} = 0$ (температура вақт ўтиши билан ўзгармайди) ва (9.14) тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$a \nabla^2 t = 0$$

Бирок a нинг қиймати нолга тенг бўлиши мумкин эмас, бундай ҳолатда:

$$\begin{aligned} \nabla^2 t &= 0 \\ \text{ёки } \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} &= 0. \end{aligned} \quad (9.15)$$

(9.15) тенглама қўзғолмас муҳит ва тургун иссиқлик режими учун иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини ифода қилади.

Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлиги. Қалинлиги δ ва иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти λ бўлган, бир жинсли материалдан тайёрланган текис деворнинг иссиқлик ўтказишини текшираемиз. Деворнинг қарама-қарши томонларидаги температуралар t_{d1} ва t_{d2} га тенг, бироқ $t_{d1} > t_{d2}$. (9.3-расм)

Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини келтириб чиқариш учун (9.13) дифференциал тенгламадан фойдаланиб, тургун иссиқлик режимида деворнинг турли нукталаридаги температура вақт давомида ўзгармайди деб оламиз. Бундан ташқари, температура майдони бир ўлчамлидир, натижада температура бир йўналиш, яъни x ўқ бўйича ўзгаради. Бунда:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0.$$

Шундай қилиб, текис девор учун тургун иссиқлик режимида иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad (9.16)$$

Бу тенгламани интеграллаш натижасида қуйидаги ифодаларга эга бўламиз:

$$\frac{dt}{dx} = c_1; \quad t = c_1 x + c_2.$$

Интеграллаш доимийлари c_1 ва c_2 ни чегара шартлари ($x=0$ ва $x=\delta$) орқали топамиз:

$$c_2 = t_{d1}; \quad c_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{d2} - t_{d1}}{\delta}.$$

Натижада қуйидаги тенгламани оламиз:

$$t = \frac{t_{a2} - t_{a1}}{\delta} x + t_{a2} \quad (9.17)$$

(9.17) тенгламадан кўриниб турибдики, тургун иссиқлик режимида текис деворнинг қалинлиги бўйича температура тўғри чизик кўринишида ўзгаради, температура градиенти эса бир хил қийматга эга бўлади.

Температура градиентининг топилган қийматини (9.8) тенгламага қўйиб тургун иссиқлик режими учун текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасига эришамиз:

$$\begin{aligned} \text{ёки} \quad dQ &= \lambda \frac{t_{a1} - t_{a2}}{\delta} dF d\tau \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{a1} - t_{a2}) F \tau, \end{aligned} \quad (9.18)$$

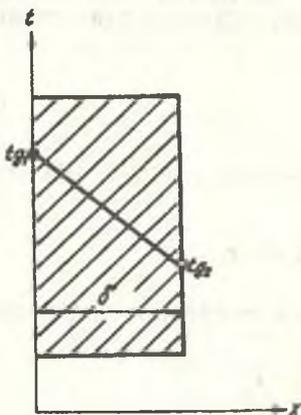
бу ерда $\bar{\lambda}/\delta$ нисбат деворнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини, тескари қиймат $\delta/\bar{\lambda}$ эса деворнинг термик қаршилигини ифодалайди.

Тургун иссиқлик режимида кўп қатламли текис девор учун қуйидаги иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ёзиш мумкин:

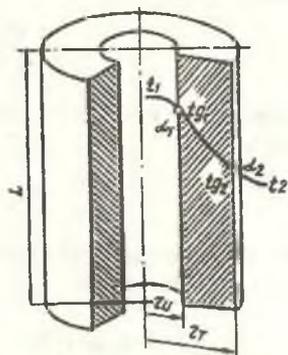
$$Q = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}} F (t_{a1} - t_{a2}) \tau, \quad (9.19)$$

бу ерда i — қатламнинг тартиб сони, n — қатламлар сони.

Цилиндрсимон, деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси. Узунлиги L , ички радиуси r_u ва ташқи радиуси r_T га тенг бўлган цилиндрсимон деворнинг (9.4-расм) иссиқлик ўтказувчанлигини кўриб чиқамиз. Ички ва ташқи девордаги температураларни ўзгармас ҳамда улар t_{a1} ва t_{a2} га тенг деб олинади ($t_{a1} > t_{a2}$).



9.3-расм. Текис деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини аниқлаш.



9.4-расм. Цилиндрсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини аниқлаш.

Бирор кесим учун цилиндрсимон деворнинг юзаси $F=2\pi rL$. F нинг қийматини Фурье тенгламаси (9.8) га қўйиб, бир ўлчамли майдон учун қуйидаги ифодани оламиз:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{d\delta},$$

бу ерда $\delta = r_T - r_u$; $d\delta$ ўрнига dr ни қўйиш мумкин:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dt}{dr}$$

ёки

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} dt. \quad (9.20)$$

Бу (9.20) тенгламани r_u дан r_T гача ва t_{n1} дан t_{n2} гача чегаралар бўйича интеграллаймиз:

$$\int_{r_u}^{r_T} \frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} \int_{t_{n1}}^{t_{n2}} dt,$$

бундан

$$\ln \frac{r_T}{r_u} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} (t_{n1} - t_{n2})$$

ёки $r_T/r_u = d_T/d_u$ ҳисобга олинса:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{n1} - t_{n2})}{\frac{1}{\lambda} 2,3 \lg d_T/d_u}, \quad (9.21)$$

бу ерда d_T/d_u — цилиндрсимон деворнинг ташқи ва ички диаметрларининг нисбати.

(9.21) тенгламадан кўришиб турибдики, цилиндрсимон деворнинг қалинлиги бўйича температура эгри чизик бўйича ўзгаради, бу тенглама тургун иссиқлик режими учун цилиндрсимон деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ифодалайди.

Бир неча қатламли цилиндрсимон девордан иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан берилган иссиқлик миқдорини қуйидаги тенглама орқали ҳисоблаш мумкин:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{n1} - t_{n2})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2,3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (9.22)$$

9.4-§. ИССИҚЛИК НУРЛАНИШИ

Нурланиш ёрдамида иссиқлик алмашилиши жисм ички энергиясини электр магнит тўлқин орқали тарқалишига асосланган. Нурланаётган жисмдан ажралган электр магнит тўлқиннинг

вакуумдаги тезлиги нурнинг тезлигига тенгдир ($C=3 \cdot 10^8$ м/с). Электр магнит тўлқин бошқа бирор жисмда ютилганида қайтадан молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергиясига айланади. Иссиқлик нурланишининг тўлқин узунлиги $700-4 \cdot 10^5$ нм чегарасида ўзгаради. Нурланиш тезлиги температуранинг ошиши билан кўнаяди. Юқори температурада (масалан $t \geq 600^\circ$ С бўлганда) қаттиқ жисмлар ва газлар ўртасидаги иссиқлик алмашилишида нурланиш йўли билан иссиқликнинг тарқалиши ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлади.

Агар жисмнинг юзасига Q_H миқдорда нурланган иссиқлик тушса, унинг фақат бир улуши Q_A жисм томонидан ютилади ва иссиқлик энергиясига айланади, бошқа улуши Q_R жисмнинг юзасидан қайтарилади, энергиянинг қолган улуши Q_D эса жисм орқали ўтиб кетади. Демак:

$$Q_H = Q_A + Q_R + Q_D \quad (9.23)$$

ёки

$$\frac{Q_A}{Q_H} + \frac{Q_R}{Q_H} + \frac{Q_D}{Q_H} = 1 \quad (9.24)$$

(9.24) тенгламадаги биринчи бўлинма жисмнинг нурланган иссиқликни ютиш қобилиятини, иккинчи бўлинма қайтариш қобилиятини, учинчи бўлинма эса жисмнинг ўзидан нурланган иссиқликни ўтказиб юбориш қобилиятини билдиради. Агар

$$\frac{Q_A}{Q_H} = A, \quad \frac{Q_R}{Q_H} = R \quad \text{ва} \quad \frac{Q_D}{Q_H} = D,$$

демак, қуйидагига эга бўламиз:

$$A + R + D = 1 \quad (9.25)$$

A , R ва D нинг сон қийматига кўра, жисмлар қуйидаги турларга бўлинади:

1) агар $A=1$ ($R=D=0$) бўлса, у ҳолда жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси ютилади. Бундай жисм абсолют қора жисм деб аталади;

2) агар $R=1$ ($A=D=0$) бўлса, жисмга тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси қайтарилади. Бундай жисм абсолют оқ жисм деб юритилади;

3) агар $D=1$ ($A=R=0$) бўлса, жисмнинг юзасига тушаётган нурланган энергиянинг ҳаммаси жисмдан ўтиб кетади. Бундай жисм диатермик жисм деб аталади.

Табиатда абсолют қора ёки абсолют оқ диатермик жисмлар йўқ, A , R ва D ўртасидаги боғлиқлик жисмнинг табиатига, юзасининг характери ва унинг температурасига боғлиқ. Одатда қаттиқ жисмлар ва суюқликлар учун $D=0$ ва $A+R=1$ бўлади. Газлар эса асосан диатермик жисмлар каторига киради. Ҳақиқий шароитда жисмлар юзасига нур ҳолида тушган энергиянинг бир

улуши ютилади, яна бир улуши қайтарилади, қолган қисмини эса жисм ўзидан ўтказиб юборади. Бундай жисмлар одатда кулранг жисмлар деб юритилади.

Стефан-Больцман қонуни. Бирор жисмнинг юза бирлиги F дан вақт бирлиги t давомида тўлқин узунлигининг ҳамма интервали бўйича ($\lambda=0$ дан $\lambda=\infty$ гача) нурланган энергиянинг миқдори жисмнинг нур чиқариш қобилияти E деб аталади:

$$E = \frac{Q_H}{Ft} \quad (9.26)$$

бу ерда Q_H — жисм томонидан нурланган энергия.

Жисмнинг нур чиқариш хусусиятининг тўлқин узунлиги интервалига нисбати *нурланиш интенсивлиги* дейилади:

$$J = \frac{dE}{d\lambda}. \quad (9.27)$$

Охириги тенгламани интеграллаш натижасида жисмнинг нур чиқариш хусусияти ва нурланиш интервали ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш мумкин:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} J d\lambda.$$

Нурланиш умумий энергиясининг абсолют температура ва тўлқин узунлигига боғлиқлигини Планк назарий йўл билан кашф этган:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\lambda T} - 1} d\lambda. \quad (9.28)$$

(9.28) тенгламадаги доимийлар ушбу қийматларга эга: $c_1 = 3,22 \cdot 10^{-16}$ Вт/м² ва $c_2 = 1,24 \cdot 10^{-2}$ Вт/м².

Охириги тенгламани ихчамлаштириб қуйидаги боғлиқликни оламиз:

$$E_0 = K_0 T^4, \quad (9.29)$$

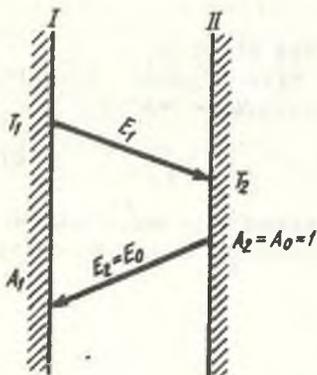
бу ерда E_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобилияти, Вт/м²; K_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш доимийлиги, $K_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴; T — жисм юзасининг абсолют температураси, К.

(9.29) тенглама *Стефан — Больцман қонуни* деб аталади. Бу қонун Планк тенгламасининг ҳосиласи ҳисобланади. Бу қонунга кўра абсолют қора жисмнинг нур чиқариш хусусияти юза абсолют температурасининг тўртинчи даражасига пропорционалдир. Стефан-Больцман қонуни кулранг жисмлар учун қуйидаги кўринишга эга:

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (9.30)$$

бу ерда ϵ — кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициентини; C_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш коэффициентини, $C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$.

Кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициентини материалнинг табиати, унинг ранги, температураси, юзасининг ҳолатига боғлиқ бўлиб, унинг қиймати 1 дан кичик бўлади ва $0,055 \div \div 0,95$ чегарада ўзгаради (масалан, $t = 25^\circ\text{C}$ бўлганда углеродли пўлат листи учун $\epsilon = 0,82$).



9.5- расм. Кирхгоф қонунини аниқлаш.

Кирхгоф қонуни. Бу қонун кулранг жисмнинг нур чиқариш ва нурни ютиш хусусиятлари ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди. Ўзаро параллел жойлашган кулранг I ва абсолют қора II жисмларни олиб кўрамиз (9.5-расм). Бир жисм юзасидан чиқарилган нур иккинчи жисмнинг юзасига тушади. Кулранг жисмнинг ютиш қобилиятини A_1 билан белгилаймиз. Абсолют қора жисм учун $A_2 = A_0 = 1$. Кулранг жисм температурасини абсолют қора жисм температурасидан юқори деб оламиз, яъни $T_1 > T_2$. Бунда кулранг жисмнинг юза бирлигидан (вақт бирлигида) нурланиш орқали берилган иссиқликнинг миқдори қуйидагича топилади:

$$q = E_1 - E_0 \cdot A_1. \quad (9.31)$$

Иккала жисмнинг температураси бир хил бўлганда иссиқлик мувозанати юзага келади ($q = 0$):

$$E_1 - E_0 A_1 = 0.$$

Бундан $\frac{E_1}{A_1} = E_0$

Натижада ўзаро параллел жойлашган бир қатор жисмлар учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = \frac{E_n}{A_n} = E_0 = f(T). \quad (9.32)$$

(9.32) тенглама **Кирхгоф қонунини** ифодалайди. Бу қонунга асосан маълум температура учун ихтиёрий бир жисмнинг нур чиқариш қобилиятини унинг нур ютиш қобилиятига бўлган нисбати ўзгармас миқдор бўлиб, бу миқдор абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобилиятига тенг.

Нур чиқариш орқали иссиқлик алмашиниш. Температураси абсолют нолдан юқори бўлган жисмлар нур орқали ўзаро энергия алмашиниши мумкин. Бундай энергиянинг алмашиниши оқибатида температураси паст бўлган жисм температураси юқори бўлган жисмдан қўшимча энергия (иссиқлик) олади. Температураси

юкори бўлган жисмдан температураси паст бўлган жисмга ўтган иссиқлик миқдори энергетик баланс орқали аниқланади. Масалан, ўзаро параллел жойлашган текис жисмлар ўртасидаги нурланиш орқали ўтган иссиқлик миқдори қуйидагича топилади:

$$Q_H = c_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad (9.33)$$

бу ерда Q_H — биринчи жисмдан иккинчи жисмга нурланиш орқали берилган иссиқлик миқдори; $F = F_1 = F_2$ — жисмнинг нур чиқараётган юзаси; c_{1-2} — жисмлар системасининг келтирилган нур чиқариш коэффициентлари.

Қаттиқ жисм ва суюқликлар нур энергиясининг ҳамма тўлқин узунлиги интервалида нурни ютиши ва чиқариши мумкин, газлар эса нур энергиясининг айрим тўлқин узунликларинигина ютиш ва чиқариш хусусиятига эга. Газлар нурни бутун ҳажми бўйича ютиши ёки чиқариши мумкин, шу сабабли нурланиш жараёни газ қатламнинг қалинлигига ва газ аралашмаси таркибидаги нур чиқариш қобилиятига эга бўлган газнинг миқдорига боғлиқ.

Газнинг нурланиш иссиқлигини қуйидаги тенглама орқали топиш мумкин:

$$Q_r = \epsilon_r c_0 \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \quad (9.34)$$

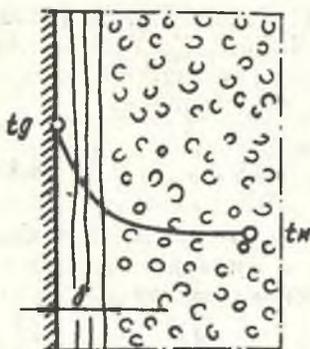
бу ерда ϵ_r — газнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти; T_r — газнинг абсолют температураси.

Газларнинг нисбий нур чиқариш коэффициентлари қиймати справочник ва махсус адабиётларда келтирилади.

9.5-§. КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ

Суюқлик ёки газнинг ҳаракати пайтидаги иссиқликнинг тарқалиши конвектив иссиқлик алмашинишнинг мазмунини ташкил этади. Бунда иссиқликнинг тарқалиши бир йўла конвекция ва иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида амалга ошади. Конвекция дейилганда суюқлик ёки газ катта заррачаларининг силжиши пайтида иссиқликнинг температуралари турлича бўлган бир қисмдан бошқа қисмига ўтиши тушунилади. Конвекция фақат ҳаракат қилаётган муҳитда юз бериши мумкин, чунки бунда иссиқликнинг тарқалиши муҳитнинг силжиши билан боғлиқдир.

Суюқлик ёки газ оқими ва уларга тегиб турган жисм юзаси оралигида иссиқликнинг тарқалиши конвектив иссиқлик алмашиниш ёки иссиқликнинг берилиши деб аталади. Ҳаракатланувчи муҳитдаги конвектив иссиқлик алмашинишда температураларнинг ўзгариш схемаси 9.6-расмда берилган. Суюқлик муҳити икки қатламдан иборат бўлади: чегара қатлами ва оқимнинг маркази. Қаттиқ жисм юзасидаги температурани t_g , оқим марказидаги



9.6- расм. Конвектив иссиқлик алмашинишда температураларнинг ўзгариши.

конвекция ташқи кучлар таъсирида ҳосил бўлади.

Суюқлик турбулент режим билан ҳаракатланганда иссиқлик алмашиниш жараёни анча тез боради, ламинар режимда эса секин кетади.

Ньютон қонуни. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг асосий қонуни Ньютоннинг совитиш қонуни ҳисобланади. Бу қонунга кўра иссиқлик алмашиниш юзасидан атроф муҳитга (ёки, аксинча бирор муҳитдан қаттиқ жисм юзасига) берилган иссиқлик миқдори dQ деворнинг юзасига (dF), юза ва муҳит температураларининг фарқига ($t_d - t_m$) ҳамда жараённинг давомлигига ($d\tau$) тўғри пропорционалди, яъни:

$$dQ = \alpha(t_d - t_m)dF d\tau, \quad (9.35)$$

бу ерда α — иссиқлик бериш коэффиценти.

Иссиқлик бериш коэффиценти қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[\alpha] = \left[\frac{dQ}{dF d\tau (t_d - t_m)} \right] = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right].$$

Узлуксиз иссиқлик алмашиниш жараёни учун (9.35) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = \alpha F(t_d - t_m). \quad (9.36)$$

Иссиқлик бериш коэффиценти α деворнинг 1 м^2 юзасидан суюқликка (ёки муҳитдан 1 м^2 юзали деворга) 1 с вақт давомида, девор ва суюқлик температураларининг фарқи 1°C бўлганда берилган иссиқликнинг миқдорини билдиради. Бу коэффицентнинг миқдори қатор катталикларга боғлиқ: суюқликнинг тезлиги w , унинг зичлиги ρ , ковушоқлиги μ , муҳитнинг иссиқлик-физик хоссалари (солиштирма иссиқлик сифими s , иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти λ , суюқликнинг ҳажмий кенгайиш

коэффициенти β), деворнинг шакли, ўлчами (труба учун d — диаметр, L — узунлик) ва унинг гадир-будирлиги ϵ_0 .

Шундай қилиб иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати куйидаги катталикларга боғлиқ экан:

$$\alpha = f(\omega, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, \epsilon_0). \quad (9.37)$$

Иссиқлик бериш коэффициентини бу катталикларга боғлиқ бўлганлигидан, иссиқлик ўтказиш жараёнларининг барча кўриниши учун α нинг қийматини ҳисоблаб чиқарадиган умумий тенгламани олишнинг имкони йўқ. Фақат иссиқлик алмашишнинг типавий жараёнлари учун тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида қайта ишлаш орқали критериал тенгламаларни чиқариш мумкин. Бу критериал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ҳисоблаб топилади.

Конвектив иссиқлик алмашишнинг дифференциал тенгламаси. Конвектив усул билан иссиқлик алмашишилганда суюқлик муҳитида иссиқлик бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция орқали тарқалади. Иссиқлик ўтказувчанлик (9.13) дифференциал тенглама билан ифодаланади:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

Бу тенгламанинг чап томони муҳитдан ажратиб олинган кўзгалмас элементар ҳажм температурасининг қисман ўзгаришини ифодалайди. Конвектив иссиқлик алмашишида элементар ҳажм муҳитнинг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига ўтади. Агар элементар ҳажмнинг x , y , ва z ўқлар бўйича ҳаракат тезлиги w_x , w_y ва w_z билан белгиласак, у ҳолда элементар ҳажм температурасининг тўла ўзгариши куйидагича бўлади:

$$\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z. \quad (9.38)$$

(9.38) тенгламадаги $\partial t / \partial \tau$ нисбат температуранинг қисман ўзгаришини, $\frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z$ йигинди эса температуранинг конвектив ўзгаришини ифодалайди.

Агар иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси (9.13) даги температуранинг қисман ўзгаришини (9.38) тенгламага асосан унинг тўла ўзгариши билан алмаштирсак, Фурье — Кирхгофнинг конвектив иссиқлик алмашиш тенгламаси келиб чиқади:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} w_x + \frac{\partial t}{\partial y} w_y + \frac{\partial t}{\partial z} w_z = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (9.39)$$

Бу тенглама ҳаракатдаги муҳитда иссиқликнинг бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция йўллари билан тарқалишининг математик ифодасидир. Конвектив иссиқлик

алмашиниш жараёнини тўла ифодалаш учун (9.39) тенгламани қаттиқ юза ва ҳаракатланувчи муҳит чегарасидаги шароитни ҳисобга олувчи бошқа тенглама билан тўлдириш керак.

Ҳаракатланувчи муҳитда жойлашган қаттиқ юза устида қалинлиги δ га тенг бўлган чегара қатлам ҳосил бўлади. Бу қатлам орқали ўтган иссиқлик миқдори *Фурье қонуни* орқали топилади:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF dt.$$

Ўтган иссиқлик миқдорини Ньютон қонуни ёрдамида ҳам аниқлаш мумкин:

$$dQ = \alpha (t_a - t_w) dF dt$$

Охириги иккита тенгламанинг ўнг томонини ўзаро тенглаштириб, қаттиқ юза ва ҳаракатланувчи суюқлик муҳити чегарасидаги шароитларни ифодаладиган тенгламани ҳосил қиламиз:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha (t_a - t_w). \quad (9.40)$$

(9.39) ва (9.40) тенглама конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнини тўла ифодалайди.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериял тенгламаси. Амалда учрайдиган кўпгина жараёнларга (9.39) ва (9.40) тенгламани татбиқ этиб бўлмайди. Шу сабабдан бу тенгламалар ҳисоблаш техникасида ишлатилмайди. Ҳисоблаш ишларида (9.39) ва (9.40) ифодаларни ўхшашлик назарияси билан қайта ишлаш натижасида олинган критериял тенгламалар кенг ишлатилади.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг критериял тенгламаси умумий ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = f'(Fo, Pe, No, Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n). \quad (9.41)$$

$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ — Нуссельт мезони: α — иссиқлик бериш коэффициентини;

l — аниқловчи геометрик ўлчам; λ — муҳитнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини. Нуссельт мезони асосий аниқловчи мезон бўлиб, девор ва оқим чегарасидаги иссиқликнинг ўтиш тезлигини ифодалайди.

$Fo = \frac{a\tau}{l^2}$ — *Фурье мезони*: a — температура ўтказувчанлик ко-

эффициенти; τ — жараённинг давомлиги. Фурье мезони нотурғун иссиқлик жараёнларида температура майдонининг ўзгариш тезлиги, муҳитнинг ўлчами ва физик катталиклари ўртасидаги боғлиқликларни белгилайди.

$Pe = RePr = \frac{\omega l}{a} = \frac{\omega l c p}{\lambda}$ — *Пекле мезони*: ω — оқимнинг тезлиги;

c — солиштирма иссиқлик сизими; p — муҳитнинг зичлиги. Пекле мезони конвектив иссиқлик алмашиниш пайтида конвекция ва

иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида ўтказилган иссиқлик микдорининг нисбатини ифодалайди.

$Ho = \frac{\omega \tau}{l}$ — Гомохрон мезони. Бу мезон ўхшаш оқимлардаги нотургун ҳаракатнинг характерини ҳисобга олади.

$Re = \frac{\omega \rho}{\mu} = \frac{\omega l}{\nu}$ — Рейнольдс мезони: μ, ν — муҳитнинг динамик ва кинематик қовушоқлик коэффициентлари. Рейнольдс мезони оқимдаги инерция ва ишқаланиш кучининг нисбатини аниқлайди.

$Fr = \frac{\omega^2}{gl}$ — Фруд мезони: g — эркин тушиш тезланиши. Фруд мезони оғирлик кучининг суюқлик ҳаракатига таъсирини ифодалайди.

$\Gamma_1 = \frac{L_1}{L_0}, \Gamma_2 = \frac{L_2}{L_0}, \dots, \Gamma_n = \frac{L_n}{L_0}$ — геометрик ўхшашлик мезонлари: L_1, L_2, \dots, L_n — иссиқлик алмашилишида қатнашаётган девор ёки юзанинг асосий геометрик ўлчами; L_0 — характерли ўлчам. Диаметр трубалар учун характерли ўлчам вазифасини бажаради ($L_0 = d$). L_0 сифатида трубанинг узунлиги, букилган трубанинг эгрилик радиуси ва бошқа шу каби ўлчамлар ишлатилади.

Шундай қилиб, конвектив иссиқлик бериш жараёнининг умумий критериял тенгламаси таркибига иссиқлик ўхшашлик мезонлари (Nu, Fo, Re) дан ташқари гидродинамик (Ho, Re, Fr) ва геометрик ўхшашлик мезонлари ($\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$) ҳам киради.

$Re = Re Pr$ бўлганлиги сабабли (9.41) тенгламадаги Пекле мезони ўрнига Прандтл мезонини ишлатиш мумкин. Бунда конвектив иссиқлик беришнинг умумий тенгламаси қуйидаги кўринишни эгаллайди:

$$Nu = f''(Fo, Pr, Ho, Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n) \quad (9.42)$$

$Pr = \frac{c\mu}{\lambda} = \frac{\gamma}{a}$ — Прандтл мезони: c — солиштирма иссиқлик сизими; a — температура ўтказувчанлик коэффициентлари. Прандтл мезони суюқликнинг қовушоқлик ва температура ўтказувчанлик хоссаларининг нисбатини ифодалайди.

Прандтл мезонининг сон қиймати томчили суюқликлар учун $3 \div 300$ атрофида бўлади ва температуранинг кўтарилиши билан анчага камаёди. Газлар учун Pr нинг қиймати ўзгармас бўлиб, атомлар сонига боғлиқ бўлади ($Pr = 0,7 \div 1$). Тахминий ҳисоблашлар учун Pr нинг қийматини қуйидагича олиш мумкин: бир атомли газлар 0,67; икки атомли газлар 0,72; уч атомли газлар 0,8; тург ва кўп атомли газлар 1,0.

Тургун иссиқлик алмашилиши жараёнида умумий тенгламадан Fo ва Ho критерийлари қисқартирилади. Мажбурий ҳаракат пайтида эса оғирлик кучининг оқим гидродинамикасига таъсири жуда камаёди, бундай шароитда Fr критерийсини ҳам қисқартириш мумкин бўлади. У ҳолда:

$$Nu = f''(Re, Pr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n). \quad (9.43)$$

(9.42) ва (9.43) тенгламаларининг кўриниши тажриба йўли билан аниқланади, одатда бундай тенгламалар даражали шаклда ифодаланади. Масалан, диаметри d ва узунлиги l бўлган трубадаги оқимнинг ҳаракати пайтидаги иссиқлик бериш жараёни учун (9.43) тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} = c Re^m Pr^n \left(\frac{l}{d}\right)^p,$$

бу ерда c , m , n , p — тажриба йўли билан аниқланадиган катталар.

Табиий конвекция пайтидаги иссиқлик беришни ҳисоблаш учун Fr критерийсини аниқлашга тўғри келади ($Fr = \omega^2/gl$). Бирок табиий конвекция пайтида оқим тезлиги ω ни ҳисоблаш жуда қийин. Шу сабабдан Fr ўрнига Грасгоф мезонини ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлади:

$$Gr = \frac{gl^3}{\nu^2} \beta \Delta t,$$

бу ерда β — ҳажмий кенгайиш коэффициенти; Δt — «иссиқ» ва «совук» суюқлик температуралари фарқи. Грасгоф мезони эркин конвекция пайтида «иссиқ» ва «совук» суюқлик зичликларининг фарқи таъсирида ҳосил бўлган оқимнинг гидродинамик режимини ифодалайди. Табиий конвекция ёки суюқликнинг эркин ҳаракати пайтида иссиқлик беришнинг умумий критериял тенгламаси қуйидаги кўринишни олади:

$$Nu = f(Gr, Pr, \frac{l}{d}). \quad (9.44)$$

Газлар учун $Pr = 1 = \text{const}$ бўлганлиги сабабли (9.44) тенгламадаги Прандтл критерийсини қисқартириш мумкин.

Иссиқлик алмашилиш жараёнининг аниқ ҳоллари ҳал қилинганда тегишли критериял тенгламалар ёрдамида Нуссельт мезонининг қиймати топилади. Сўнгра Нуссельт мезонининг тенгламаси орқали иссиқлик бериш коэффициенти α аниқланади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}.$$

9.6-§. КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШНИНГ ТАЖРИБА НАТИЖАЛАРИ

Ҳозирда конвектив иссиқлик алмашилишнинг ҳамма турлари илмий жиҳатдан тадқиқ қилинган, тадқиқотлар натижалари асосида тегишли критериял тенгламалар ишлаб чиқилган. Крите-

риал тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари ҳисоблаб топилади. Конвектив иссиқлик алмашилишининг айрим кўринишлари бўйича олинган критериял тенгламалар билан танишиб чиқамиз.

1. Тўғри труба ва каналларда ривожланган турбулент оқимда иссиқлик бериш ($Re > 10000$). Суюқлик оқими учун ҳисоблаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = 0,021 \epsilon_c Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (9.5)$$

Аниқловчи геометрик ўлчам вазифасини эквивалент диаметр бажаради, яъни:

$$l = d_s = \frac{4f}{\pi} \quad (9.46)$$

бу ерда f — оқимнинг кўндаланг кесим юзаси; π — оқим кесимининг тўла периметри.

Агар труба кесими думалок бўлса $d_s = d$. Аниқловчи температура сифатида суюқлик ёки газнинг ўртача температураси олинади.

$\left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}$ ифода иссиқлик оқимининг йўналишини кўрсатади. Агар

девор ва суюқлик температуралари ўртасидаги фарқ катта бўлмаса, бу кўнайтманинг миқдори бирга яқин бўлади. Pr мезонининг қиймати ҳисоблаганда физик-кимёвий катталиклар суюқликнинг ўртача температураси бўйича олинади.

Pr_d мезонини ҳисоблаш учун суюқликнинг физик-кимёвий катталиклари деворнинг температураси бўйича олинади. ϵ_c — тузатиш коэффициенти. Змеевиклар (эрилган трубалар) учун (9.45) тенглама бўйича ҳисобланган α нинг қиймати x коэффициентига кўнайтирилади:

$$\alpha_{3m} = x\alpha, \quad (9.47)$$

$$x = 1 + 3,54 \frac{d}{D}, \quad (9.48)$$

бу ерда x — змеевикнинг нисбий эгилиш коэффициенти; d — змеевик трубасининг ички диаметри; D — змеевик айланасининг диаметри.

Газлар учун $\frac{Pr}{Pr_d} = 1$; Pr нинг қиймати эса газнинг атомлар

сонига боғлиқ. Шу сабабли газлар учун (9.45) критериял тенглама анча соддалашади. Масалан, ҳаво учун (9.45) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$Nu = 0,018 \epsilon_c Re^{0,8} \quad (9.49)$$

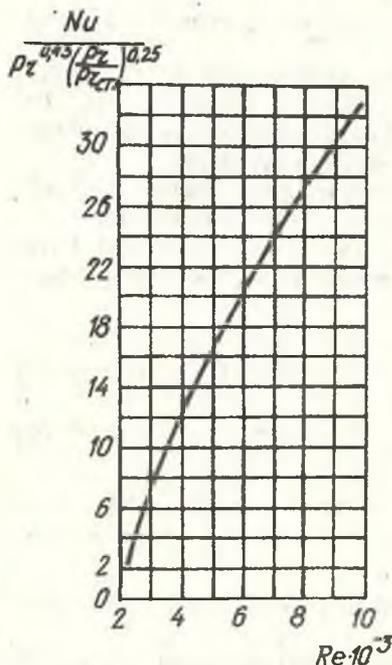
Тузатиш коэффициенти ϵ_c — труба узунлигини унинг диаметрига нисбати (L/d)ни иссиқлик бериш коэффициентига таъсирини ифодалайди. Бу коэффициентнинг қиймати 9.1-жадвалда берилган.

9.1-жадвал

Рейнольдс мезони	L/d				
	10	20	30	40	50 ва ундай қўн
$1 \cdot 10^4$	1,23	1,13	1,07	1,03	1
$2 \cdot 10^4$	1,18	1,10	1,05	1,02	1
$5 \cdot 10^4$	1,13	1,08	1,04	1,02	1
$1 \cdot 10^5$	1,10	1,06	1,03	1,02	1
$1 \cdot 10^6$	1,05	1,03	1,02	1,01	1

2. Тўғри труба ва каналларда $Gr Pr < 8 \cdot 10^5$ ва $Re < 10000$ бўлганда иссиқлик бериш. Труба ва каналлар вертикал ёки горизонтал жойлашган бўлиши мумкин.

а) Ламинар режимда ($Re < 2300$) α ни ҳисоблаш учун қуйидаги критериял тенгламадан фойдаланилади:



$$Nu = 1,55 \epsilon_c (Pr \frac{d}{L})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_d} \right)^{0,14} \quad (9.50)$$

Аниқловчи температура: $t = 0,5 (t_d + t_{c.вр.})$, бу ерда t_d деворнинг температураси, $t_{c.вр.}$ суюқликнинг ўртача температураси.

Агар трубанинг иситиладиган қисми олдида гидродинамик бар қарор қиладиган бўлаги бўлмаса, (9.50) тенгламага тузатиш коэффициентини ϵ_c киритилади. Ушбу коэффициентнинг қиймати одатда бирга яқин бўлади ($\epsilon_c \geq 1$). Тахминий ҳисоблашларда ϵ_c нинг қиймати ҳисобга олинмаса ҳам бўлади.

(9.50) тенглама қуйидаги шартлар $0,00067 \leq \left(\frac{\mu}{\mu_d} \right)$ ва

$20 \leq (Pe \frac{d}{L})$ учун ишлаб чиқилган.

$(Pe \frac{d}{L}) < 20$ бўлганда Нуссельт мезони асимптотик равишда охириги қийматга интилади:

9.7-расм. $Gr Pr < 8 \cdot 10^5$ бўлганда

$$\frac{Nu}{Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)}$$

нинг Re критерийсидан боғлиқлиги.

$$Nu \approx 3,66 \quad (9.51)$$

б) Оралик режим ($2300 < Re < 10000$) учун аниқ критериял тенглама йўқ. Тахминий ҳисобларни 9.7-расмда кўрсатилган график бўйича олиб бориш мумкин.

3. $(Gr Pr) > 8 \cdot 10^5$ ва $Re < 10000$ бўлганда тўғри т_б ва каналларда иссиқлик бериш.

а) Трубаларнинг горизонтал жойланиши ($Re < 3500$)

$$Nu = 0,8 (Pe \frac{d}{L})^{0,4} (GrPr)^{0,1} \left(\frac{\mu}{\mu_n} \right)^{0,14} \quad (9.52)$$

(9.52) тенгламаси қуйидаги шарт-шароитлар учун келтириб чиқарилган: $20 \leq (Pe \frac{d}{L}) \leq 120$; $10^6 \leq (Gr Pr) \leq 1,3 \cdot 10^7$; $2 \leq Pr \leq 10$. Аниқловчи температура $t = 0,5(t_a + t_{c,yp})$

Агар $(Pe \frac{d}{L}) \leq 10$ бўлса Nu нинг қиймати ушбу тенглама орқали аниқланади:

$$Nu = 0,5 (Pe \frac{d}{L}) \quad (9.53)$$

б) Трубаларнинг горизонтал жойланиши ($Re > 3500$):

$$Nu = 0,022 Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_n} \right)^n, \quad (9.54)$$

бу ерда $n = 0,14$ — иситилган пайтда, $n = 0,25$ — совитилган пайтда.

(9.52) ва (9.54) тенгламалари тажриба натижалари асосида $(Gr Pr) < 13 \cdot 10^6$ бўлган шароит учун ишлаб чиқилган. Тахминий ҳисоблашлар учун ушбу тенгламалардан $(Gr Pr) > 13 \cdot 10^6$ бўлган пайтда ҳам фойдаланиш мумкин.

в) Эркин ва мажбурий конвекция йўналишлари бир-бирига тўғри келмаганда трубаларнинг вертикал жойланиши:

$$Nu = 0,037 Re^{0,75} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_n} \right)^n, \quad (9.55)$$

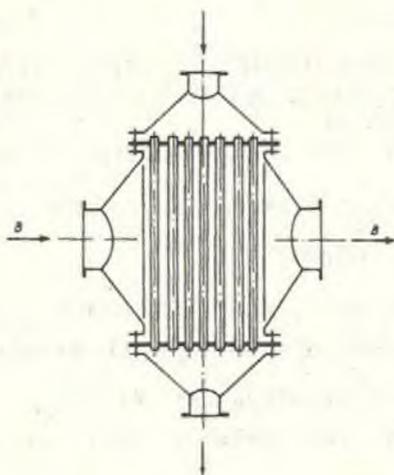
бу ерда $n = 0,11$ — иситилган пайтда, $n = 0,25$ — совитилган пайтда.

(9.55) тенгламаси $250 < Re < 10000$ ва $1,5 \cdot 10^6 < (Gr Pr) < 12 \cdot 10^6$ бўлган шароитлар учун келтириб чиқарилган. Тахминий ҳисоблашлар учун ушбу тенгламадан $(Gr Pr) > 12 \cdot 10^6$ бўлганда ҳам фойдаланиш мумкин.

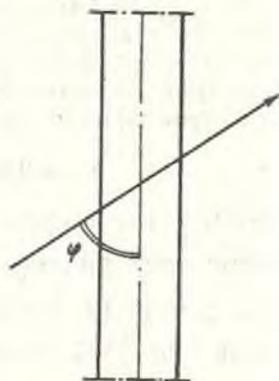
4. Текис трубалар ўрамини оқимнинг кўндаланг айланиб ўтиши пайтидаги иссиқлик бериш.

а) Суюқлик ҳаракати бир маротаба ўзаро кесишган қурилмалар. Мисол учун 9.8-расмда кўрсатилган қурилма трубалари ташқарисидаги бўшлиқ трубалар ўрамини суюқлик кўндаланг йўналишда (В — В) айланиб ўтмоқда. 9.9-расмда эса суюқлик оқимининг таъсир бурчаги кўрсатилган $Re < 1000$ бўлганда йўлаксимон ва шахматли ўрам учун:

$$Nu = 0,56 \epsilon_\phi Re^{0,5} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25} \quad (9.56)$$



9.8- расм. Суюклик харакати бир маротаба кесишган қурилма.



9.9- расм. Оқимнинг таъсир бурчаги.

$Re > 1000$ бўлганда йўлаксимон ўрам учун:

$$Nu = 0,22 \epsilon_{\phi} Re^{0,65} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (9.57)$$

Шахматли ўрам учун:

$$Nu = 0,4 \epsilon_{\phi} Re^{0,6} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (9.58)$$

Аниқловчи температура — суюкликнинг ўртача температураси, аниқловчи ўлчам — трубаининг ташқи диаметри. Оқимнинг тезлиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\omega = \frac{V}{S_{y.k.}}, \quad (9.59)$$

бу ерда V — суюклик сарфи, m^3/c ; $S_{y.k.}$ — трубалар ораллигидаги оқим ўтадиган кесимнинг юзаси. Стандартлаштирилган иссиқлик алмашиниш қурилмалари учун ГОСТда оқим ўтадиган кесим юзаси берилади.

Оқимнинг таъсир қилиш бурчагини ифодалайдиган коэффициент ϵ_{ϕ} нинг қиймати 9.2-жадвалда берилган.

9.2-жадвал

Оқимнинг таъсир бурчаги, ϕ	90	80	70	60	50	40	30	20	10
коэффициент, ϵ_{ϕ}	1	1	0,98	0,94	0,88	0,78	0,67	0,52	0,42

(9.56) — (9.58) тенгламалар ёрдамида ўрамнинг учинчи ва ундан кейинги трубалар қатори учун иссиқлик бериш коэффициентини α нинг қиймати аниқланади. Қаторлар сони анча кўп бўлган шароитда α нинг ушбу ҳисобланган қийматини тахминан бутун ўрам учун ўртача қиймат деб олиш мумкин.

Газлар учун ҳисоблаш тенгламалари анча соддалашади, чунки $P_r/P_{r_d}=1$, P_r нинг қиймати эса газнинг атомлар сонига боғлиқдир. Ҳаво учун ($Re > 1000$) трубалар шахмат усулида жойлаштирилганда Nu нинг қиймати қуйидаги критериял тенглама ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

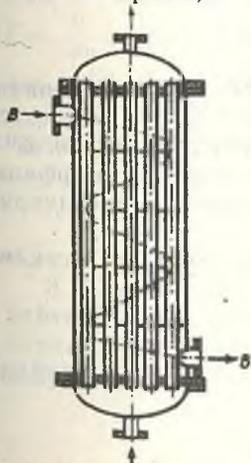
$$Nu = 0,356 \epsilon_{\phi} Re^{0,6}, \quad (9.60)$$

б) Суюқлик ҳаракати кўп маротаба кесишган қурилмалар. Мисол кўндаланг тўсиқлари бўлган қобикли трубаги иссиқлик алмашгичнинг трубалари оралигидаги бўшлиқ (9.10-расм); суюқлик В-В бўйича ҳаракат қилади. Ҳисоблашлар учун (9.56) — (9.58) тенгламалардан фойдаланилади; бунда коэффициент $\epsilon_{\phi} = 0,6$ деб олинади.

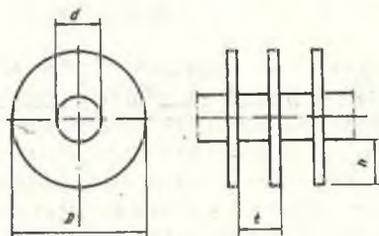
5. Кўндаланг қиррали трубалар ўрами учун оқимнинг айланиб ўтиши пайтидаги иссиқликнинг берилиши. $Re = 3000 \div 25000$ ва $3 < \frac{d}{t} < 4,8$ шароит учун ҳисоблаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = c \left(\frac{d}{t} \right)^{-0,54} \left(\frac{h}{t} \right)^{-0,14} Re^n Pr^{0,4}, \quad (9.61)$$

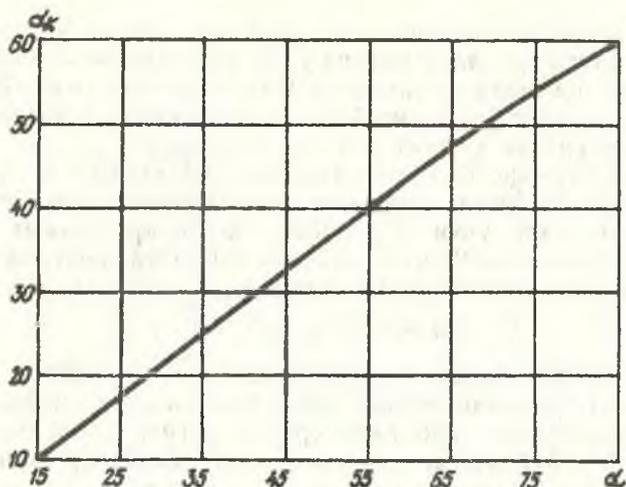
бу ерда d — трубанинг ташқи диаметри; t — қирраларнинг қадами; D — қирранинг диаметри; $h = \frac{D-d}{2}$ қирранинг баландлиги (9.11-расм).



9.10-расм. Сегментли кўндаланг тўсиқлари бўлган қобикли трубаги иссиқлик алмашгич.



9.11-расм. Кўндаланг қиррали трубалар.



9.12-расм. α_k нинг α билан ўзаро боғланиши.

Аниқловчи температура — суюкликнинг ўртача температураси, аниқловчи ўлчам эса — қирранинг баландлиги. Коридорсимон ўрам учун: $c=0,116$; $n=0,72$; шахматли ўрам учун; $c=0,25$; $n=0,65$.

(9.61) тенглама бўйича α нинг қиймати топилади, сўнгра 9.12-расмда берилган график бўйича келтирилган иссиқлик бериш коэффиценти α_k аниқланади. Бунда иссиқлик ўтказиш коэффиценти K қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_r}{F_u} + \Sigma r} \quad (9.62)$$

бу ерда F_r — қиррали труба ташқи юзаси тула майдоннинг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати; F_u труба ички юзаси майдонининг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати; α_2 — трубанинг ичидан ўтаётган оқим учун иссиқлик бериш коэффиценти; Σr — девор ва девор юзаларига жойлашган ифлосликлар термик қаршилиқларининг йиғиндиси.

6. Текис горизонтал юза бўйлаб ҳаракат пайтида иссиқлик бериш. Ҳисоблаш тенгламалари:

а) $Re < 5 \cdot 10^5$

$$Nu = 0,66 Re^{0,5} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25} \quad (9.63)$$

б) $Re < 5 \cdot 10^5$

$$Nu = 0,37 Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25} \quad (9.64)$$

Аниқловчи температура — суюқликнинг ўртача температураси, аниқловчи ўлчам — оқим харакати йўналиши бўйича юзанинг узунлиги.

Газлар учун тенглама содалашади. Ҳаво учун (9.64) тенглама қуйидаги кўринишни эгаллайди.

$$Nu = 0,032 Re^{0,8} \quad (9.65)$$

7. Вертикал юза бўйлаб суюқликнинг юпка қатлам ҳолатида оқиши пайтида иссиқлик бериш.

а) Юпка қатламнинг турбулент оқиши ($Re > 2000$):

$$Nu = 0,01(Ga Pr Re)^{1/3} \quad (9.66)$$

б) Юпка қатламнинг ламинар оқиши ($Re < 2000$):

$$Nu = 0,67 (Ga^2 Pr^3 Re)^{1/9}. \quad (9.67)$$

Аниқловчи температура — юпка қатламнинг ўртача температураси

$$t = 0,5(t_d + t_{c.yp}).$$

(9.66) ва (9.67) тенгламаларида:

$$Nu = \frac{\alpha H}{\lambda}; \quad Ga = \frac{H^3 \rho^2 g}{\mu^2}; \quad Re = \frac{\omega d_s \rho}{\mu} = \frac{4\Gamma}{\mu};$$

бу ерда H — юза баландлиги, м; $d_s = \frac{4f}{\Pi}$ — юпка қатламнинг эквивалент диаметри, м; f — юпка қатлам кўндаланг кесимининг юзаси, м²; Π — юпка қатлам сийпаб ўтган периметр, м; $\Gamma = \frac{G}{\pi d_n} = \frac{G}{\Pi}$ — суюқликнинг чизиқли сарфи, кг/(м.с); n — труба-лар сони; G — суюқликнинг сарфи, кг/с.

$Re \leq 1500$ бўлганда юпка қатламнинг қалинлиги қуйидаги назарий тенглама орқали аниқланади:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3G\mu}{\Pi\rho^2g}} = \sqrt[3]{\frac{3\Gamma\mu}{\rho^2g}}. \quad (9.68)$$

8. Суюқликларни аралаштиргичлар ёрдамида аралаштириш пайтида иссиқлик бериш. Змеевикли, қобикли ва аралаштиргичли қурилмаларда иссиқлик берилиш коэффиценти α ни қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$Nu = c' R_e^m Pr^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_a}\right)^{0,14} \Gamma^{-1}; \quad (9.69)$$

бу ерда $Nu = \frac{\alpha d_m}{\lambda}$; $Re = \frac{\rho n d_a^2}{\mu}$; $\Gamma = \frac{D}{d_a}$.

D — қурилма диаметри; n — аралаштиргичнинг айланишлар сони; d_a — аралаштиргич диаметри; μ_d — суюқликнинг қобиқ девори ёки змеевик температураси бўйича топилган динамик қовушоклик коэффициентлари; μ — ўртача температура $0,5(t_d + t_{с.ўр.})$ бўйича топилган динамик қовушоклик коэффициентлари.

Қолган физик катталиқлар қурилма ичидаги суюқликнинг ўртача температураси $t_{с.ўр.}$ бўйича олинади. Қобиқли қурилмалар учун $c=0,36$ ва $m=0,67$; змеевикли қурилмалар учун $c=0,87$ ва $m=0,62$.

(9.63) тенглама диаметри 1,5 м гача бўлган қурилмалардаги турбинали, пропеллерли ва парракли аралаштиргичлар учун ($F=2,5 \div 4$) яхши натижалар беради.

9. Эркин конвекция пайтида иссиқлик бериш

а) горизонтал трубаларнинг ташқи томонида иссиқлик бериш ($10^3 < Gr Pr < 10^9$):

$$Nu = 0,5(Gr Pr)^{0,25} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}; \quad (9.70)$$

б) вертикал цилиндрсимон ва текис юзаларда иссиқлик бериш ($10^3 < Gr Pr < 10^9$):

$$Nu = 0,76(Gr Pr)^{0,25} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}; \quad (9.71)$$

в) вертикал цилиндрсимон ва текис юзалар учун ($Gr Pr > 10^9$):

$$Nu = 0,15(Gr Pr)^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}; \quad (9.72)$$

Аниқловчи температура сифатида муҳитнинг температураси ҳисобга олинади. Горизонтал трубалар учун аниқловчи ўлчам бўлиб диаметр, вертикал юзалар учун эса баландлик олинади.

9.7-§. АГРЕГАТ ҲОЛАТНИНГ ЎЗГАРИШИДА ИССИҚЛИК БЕРИШ

Айрим иссиқлик алмашиниш жараёнларида иситилаётган ёки совитилаётган материаллар ўзининг агрегат ҳолатини ўзгартиради, яъни буғланиш, конденслаш, суюқланиш ёки кристалланиш жараёнлари содир бўлади. Бу жараёнлар алоҳида хусусиятга эга: материалга иссиқлик келиши ёки ундан кетиши ўзгармас температурада боради, иссиқлик бир фазада эмас, балки икки фазада тарқалади. Бундай жараёнларни ўрганишда агрегат ҳолатнинг ўзгариш иссиқлигини албатта ҳисобга олиш керак. Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган жараёнларни ҳисоблаш учун конвектив иссиқлик белгилловчи қўшимча мезон киритилади.

Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган жараёнлар ичида бугнинг конденсацияланиши ва суюқликларнинг қайнашидаги иссиқлик бериш кенг ишлатилади.

Бугнинг конденсацияланиши. Кимёвий қурилмаларда буг орқали иссиқлик беришда буг юпка қатлам холида конденсланади. Бугнинг конденсацияланиши вақтида асосий термик қаршилик конденсатнинг юпка қатламида юз беради. Юпка қатламининг девор томондаги температураси t_1 га, буг томондаги температурасини эса тўйиниш температураси t_r га тенг деб олинади (9.13-расм). Юпка қатламининг термик қаршилигига нисбатан буг фазасининг термик қаршилиги жуда кичик.

Конденсат юпка қатламининг режими Рейнольдс сонига боғлиқ: бугнинг конденсланишида иссиқлик бериш тезлигига конденсатнинг физик хоссалари (зичлик, ковушочлик, иссиқлик ўтказувчанлик), деворнинг гадир-будирлиги, деворнинг фазода жойланиши ва унинг ўлчамлари таъсир кўрсатади. Девор юзасидаги гадир-будирликнинг кўпайиши ва вертикал девор баландлигининг ортиши билан конденсат қатлами пастга қараб қалинлашиб боради (9.13-расмга қаранг).

Бугнинг конденсацияланишида иссиқлик бериш коэффициенти қуйидаги умумий тенглама ёрдамида аниқланади:

$$Nu = f(Ga, Pr, K); \quad (9.73)$$

бу ерда $Ga = \frac{g l^3 \rho^2}{\mu^2}$ — Галилей мезони;

$Pr = c\mu/\lambda$ — Прандтл мезони;

$K = r/c\Delta t$ — конденсацияланиш мезони.

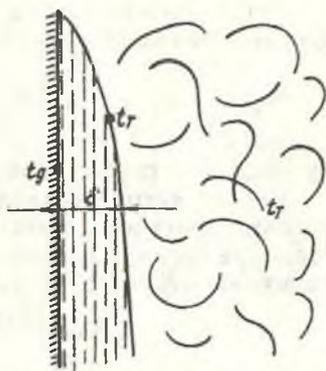
Галилей мезони оқимдаги оғирлик кучи ва ишқаланиш кучининг нисбатини белгилайди. Конденсацияланиш мезони эса агрегат ҳолатнинг ўзгаришини ифодалайди.

(9.73) ифодани қайта ишлаш натижасида вертикал жойлашган текис ёки цилиндрсимон юзада конденсат юпка қатламининг ламинар ҳаракати учун қуйидаги назарий тенглама чиқарилган:

$$\alpha = 1,15 \sqrt{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t H}} \quad (9.74)$$

Конденсатнинг физик-кимёвий катталиклари (λ , ρ , μ) юпка қатламининг ўртача температураси $t_{cp} = \frac{t_r + t_1}{2}$ бўйича топилади.

Конденсацияланиш иссиқлиги тўйиниш температураси t_r га қараб аниқланади. Температуралар фарқи $\Delta t = t_r - t_1$. H — вертикал юзанинг баландлиги, r — конденсацияланиш температураси бўйича фазавий ўзгариш иссиқлиги.



9.13- расм. Конденсатнинг юпка қатламида температуранинг тақсимланиши.

Битта горизонтал трубанинг ташқи юзасида бугнинг конденсацияланиши учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\alpha = 0,728 \sqrt{\frac{\lambda^3 \rho^2 r g}{\mu \Delta t d}}, \quad (9.75)$$

бу ерда d — труба диаметри.

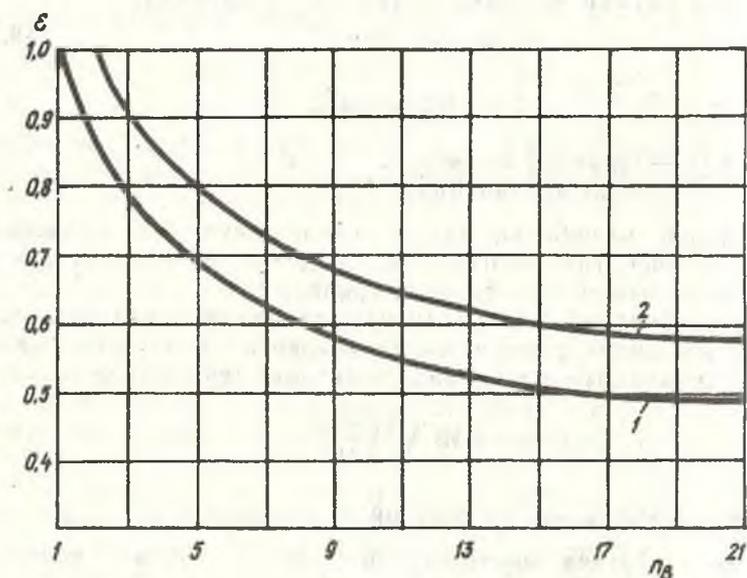
Техник ҳисоблашларда, агар иссиқлик беришнинг иккинчи коэффиценти анча кичик қийматга эга бўлса, конденсацияланаётган сув буги учун иссиқлик бериш коэффицентининг қийматини тахминан қуйидаги интервалда олиш мумкин:

$$\alpha_{\text{конд.}} = 10000 \div 12000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К.}$$

Горизонтал трубалар ўрамининг ташқи юзасида конденсацияланган буг пастки трубаларга тушган сари конденсат қатламининг қалинлиги катталашиб боради. Шу сабабли пастки трубалар учун иссиқлик бериш коэффиценти камайиб кетади. Трубалар ўрами учун ўртача иссиқлик бериш коэффиценти қуйидагича топилади:

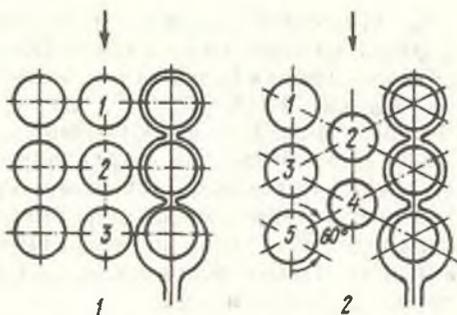
$$\alpha_{\gamma} = \varepsilon \alpha, \quad (9.76)$$

бу ерда α — алоҳида олинган горизонтал труба учун (9.75) тенглама бўйича ҳисобланган иссиқлик бериш коэффиценти; ε — трубаларнинг ўрамда жойлашувига ва уларнинг сонига боғлиқ



9.14- расм. Коэффициент ε нинг вертикал бўйича олинган трубалар сони n дан боғлиқлиги:

1 — йўлакчи жойлаштириш; 2 — шахмат тартибда жойлаштириш.



9.15- расм. Йўлакчи (1) ва шахмат тартибида (2) жойлашган горизонтал ўрамларда n_n ни аниқлаш.

бўлган коэффициент, унинг киймати график бўйича топилади (9.14-, 9.15-расмларга қаранг).

Суюқликнинг қайнаши. Суюқлик қайнаганда иссиқлик бериши жараёндан кимёвий технологияда (масалан, буглатиш, ректификация, совитиш қурилмаларида) кенг фойдаланилади. Бу жараён жуда мураккаб жараёнлар жумласига киради.

Суюқлик қайнаш температурасигача қиздирилганда девор яқинидаги чегара катлам бузилади, натижада буг пуфакчалари ҳосил бўлади. Бу пуфакчаларнинг шакли ва уларнинг сони берилаётган иссиқлик миқдорига, иситиш юзасининг тозалигига ва гадир-будирлигига, суюқликнинг иситиш юзасини намлаш қобилиятига боғлиқ. Буг пуфакчалари маълум ўлчамга эга бўлгандан сўнг қайнаётган суюқликнинг юзасига чиқади. Пуфакчалар кўтарилаётганда унинг ичидаги суюқлик буғланади, натижада пуфакчаларнинг ҳажми катталашиб боради. Шундай қилиб, суюқлик қайнашидаги иссиқликнинг берилиши икки қисмдан иборат бўлади: иссиқликнинг девор орқали суюқликка берилиши, пуфакчаларнинг ички юзасидан буғланиш иссиқлиги орқали иссиқликнинг тарқалиши.

Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, суюқликнинг қайнаш пайтида буг пуфакчалари иситиш юзасининг айрим жойларида (буг ҳосил бўлиш марказларида) ҳосил бўлади. Бундай марказлар вазифасини каттик юзадаги гадир-будирликлар, ифлосланган заррачалар ва шу кабилар ўтайди. Иситиш юзасидан ажралиб чиқаётган пайтдаги буг пуфакчаларининг ўлчами d_0 қуйидаги тенгламадан топилади:

$$d_0 = 0,02\Theta \sqrt{\frac{\delta}{\gamma \gamma_0}}, \quad (9.77)$$

бу ерда δ — суюқликнинг сирт таранглиги, Н/м; γ — суюқликнинг солиштирма оғирлиги, Н/м³; γ_0 — буғнинг солиштирма оғирлиги, Н/м³; Θ — намланишнинг чегаравий бурчаги.

(9.77) тенглама бўйича ҳисоблашдан шу нарса маълум бўлдики, сувнинг атмосфера босимида қайнаши пайтида иситиш юзасидан ажралиб чиқаётган буг пуфакчаларининг диаметри 2 ÷ 3 мм га тенг экан.

Суюкликнинг қайнаши икки хил режимда бориши мумкин (пуфакли қайнаш, юпка қатлам билан қайнаш). Пуфакли қайнаш пайтида иссиқлик бериш тезлиги анча юқори бўлади. Температуралар фарқи ΔT ($\Delta t = t_g - t_k$; бу ерда t_g — иситиш юзасининг температураси, t_k — суюкликнинг қайнаш температураси) ортиб борган сари буғланиш марказлари шундай кўпайиб кетадики, оқибатда пуфакчаларнинг ўзаро қўшилиб кетиши натижасида иситиш юзасининг усти қиздирилган бугнинг юпка қатлами билан қопланади. Бу қатлам иссиқликни ёмон ўтказганлиги сабабли α нинг қиймати камайиб кетади. Бундай ҳолат юпка қатлам билан қайнаш деб юритилади.

Пуфакли қайнашдан юпка қатлам билан қайнашга ўтишга тўғри келган нуқтага α ва q нинг критик қийматлари мос келади. Масалан, сув учун: $q_{кр} = 1,16 \cdot 10^6$ Вт/(м²·К); $\alpha = 4,6 \cdot 10^4$ Вт/(м²·К).

Одатда деворни ўта исидан сақлаш ва қайнаш жараёнини пуфакли режимда олиб бориш учун қурилмаларни критик қийматдан кам бўлган солиштирма иссиқлик сарфи q билан ишлатиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Масалан, сувни ва сувли эритмаларни буғлатиш учун $q = 9,4 \cdot 10^4$ Вт/(м²·К) дан ортиқ бўлмаган солиштирма иссиқликни сарфлаш керак.

Катта ҳажмда эркин конвекция билан пуфакли қайнаш режими учун иситиш юзасини намловчи суюкликларда α нинг қиймати қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$\alpha = Aq^{0.7} \quad (9.78)$$

ёки бу ерда
$$\alpha = A^{3,33} \cdot \Delta t^{2,33} \quad (9.79)$$

$$A = 7,77 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho_n r}{\rho - \rho_n} \right)^{0,033} \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,333} \cdot \frac{\lambda^{0,75}}{\mu^{0,45} c^{0,117} t_r^{0,37}}, \quad (9.80)$$

бунда ρ_n — бугнинг зичлиги, кг/м³; r — буг ҳосил бўлиш иссиқлиги, Ж/кг; t_r — тўйиниш температураси, К; ρ , σ , μ ва c суюкликнинг физик-кимёвий катталиклари.

Сув учун (9.78) ва (9.79) тенгламалар анча соддалашади:

$$\alpha = 0,56 q^{0,7} \cdot P^{0,15} \quad (9.81)$$

ёки
$$\alpha = 0,145 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot P^{0,5}, \quad (9.82)$$

бу ерда P — босим, Н/м².

9.8-§. ДОНАДОР МАТЕРИАЛЛАР ҚАТЛАМИДА ИССИҚЛИКНИНГ ТАРҚАЛИШИ

Донадор қаттиқ материаллар ва газ оқими ўртасида иссиқликнинг тарқалиш жараёни кимё саноатининг айрим тармоқларида кенг ишлатилади.

Қўзғалмас донадор қатламда иссиқликнинг берилиши. Донадор қатлам (насадка) орқали иссиқлик ташувчи агентнинг ўтиш

пайтидаги иссиқликнинг берилиши жуда мураккаб жараён бўлиб, унинг тезлиги қаттиқ материал доналарининг шакли ва ўлчамига, насадканинг материали, қатламнинг ғовақлиги, газнинг температураси ҳамда хоссалари ва шу каби катталиқларга боғлиқ.

Иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган [$\lambda = 0,13 \div 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$] кўзгалмас насадка орқали турғун режим ($Re = 50 \div 2000$) билан газ ўтганда иссиқликнинг берилишини ҳисоблаш учун қуйидаги тенглама таклиф қилинган:

$$Nu = 0,123 Re^{0,83}, \quad (9.83)$$

бу ерда $Nu = \frac{\alpha d_s}{\lambda}$; $Re = \frac{w d_s}{\mu}$; $W = w_0 \rho$; d_s — насадканинг эквивалент диаметри; ρ , μ , λ — газнинг физик катталиқлари; W — газнинг массавий тезлиги; w_0 — газ оқимининг мавҳум тезлиги.

Қатта иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлган [$\lambda_n = 37 \div 383 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$] металл насадкалар учун газ оқимининг режими турғун бўлганда ($Re = 50 \div 1770$) иссиқликнинг берилиши қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$Nu = 0,025 \left(\frac{\lambda_n}{\lambda} \right)^{0,15} Re^{0,89}, \quad (9.84)$$

бу ерда λ_n/λ — насадка ва газ иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентларининг нисбати.

Мавҳум қайнаш қатламда иссиқликнинг берилиши. Иссиқлик тарқаладиган юза қатта бўлганлиги сабабли донадор материалнинг мавҳум қайнаш қатламида иссиқлик қатта тезлик билан тарқалади. Иссиқликнинг тарқалишида қатнашаётган юзани ҳамда қаттиқ модда ва газ (ёки суюқлик) температуралари ўртасидаги ҳақиқий фарқни аниқлаш қийин бўлганлиги сабабли бундай жараёнларни ҳисоблаш ҳам қийин. Мавҳум қайнаш қатламида иссиқликнинг тарқалиши икки қисмдан иборат бўлади: газ оқимидан қаттиқ заррачаларга иссиқликнинг конвектив иссиқлик алмашилиш йўли билан берилиши, қаттиқ заррачалар ичида иссиқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан тарқалиши. Газ ва қаттиқ заррачалар температуралари орасидаги фарқ жуда кичик бўлганлиги сабабли нурулиниш орқали иссиқликнинг тарқалиши ҳисобга олинмайди.

Газ оқимидан қаттиқ заррачаларга вақт бирлиги ичида берилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$Q = \alpha F_k \Delta t, \quad (9.85)$$

бу ерда F_k — қаттиқ заррачаларнинг юзаси; Δt — газ ва қаттиқ заррачалар (ёки аксинча) температуралари ўртасидаги фарқ.

Газ оқимидан мавҳум қайнаш ҳолатидаги қаттиқ заррачаларга (ёки аксинча) иссиқлик бериш коэффициенти α Рейнольдс мезонининг қийматиغا, муҳитнинг физик хоссаларига, қаттиқ заррачаларнинг ўлчамига ва системанинг геометрик ўлчамига боғлиқ. Тахминий ҳисоблашлар учун қуйидаги тенгламалар таклиф этилган:

$$Re < 200, Nu = 1,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{Re}{\varepsilon} \right)^{1/3} P_r^{1/3}, \quad (9.86)$$

$$Re \geq 200, Nu = 0,4 \left(\frac{Re}{\varepsilon} \right)^{2/3} P_r^{1/3}. \quad (9.87)$$

бу ерда $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$; $Re = \frac{w_0 d \rho}{\varepsilon \mu}$; d — қаттик заррачаларнинг диаметри; ε — қатламнинг говаклилиги; ρ , μ , λ — газ (ёки суюқлик)нинг физик хоссалари.

9.9-§. ИССИҚЛИК ҰТИШИ

Иссиқлик алмашиниш жараёнларида иссиқлик бир мухитдан иккинчисига ўтади. Кўпинча иссиқлик элткичлар бир-биридан девор орқали (қурилманинг, трубанинг девори ва хоказо) ажратилган бўлади. Температураси юқори бўлган мухитдан температураси паст бўлган мухитга бирор девор орқали иссиқликнинг берилиши *иссиқлик ўтиши* деб аталади. Бунда берилган иссиқликнинг миқдори Q иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$Q = K \Delta t_{\text{ср}} F \tau, \quad (9.88)$$

бу ерда K — иссиқлик ўтказиш коэффициенти; $\Delta t_{\text{ср}}$ — иссиқ ва совуқ мухит температураларининг ўртача фарқи; F — мухитларни ажратувчи девор юзаси; τ — жараённинг давомлилиги.

Узлуксиз ишлайдиган тургун жараёнлар учун (9.88) тенгламадаги τ ҳисобга олинмайди. У ҳолда:

$$Q = K \Delta t_{\text{ср}} F. \quad (9.89)$$

(9.88) тенгламадаги K — иссиқликнинг биринчи мухит марказдан ажратувчи деворга иссиқлик бериш, девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик ва девор юзасидан иккинчи мухит марказига иссиқлик бериш йўллари орқали ўтиш тезлигини белгиловчи коэффициент.

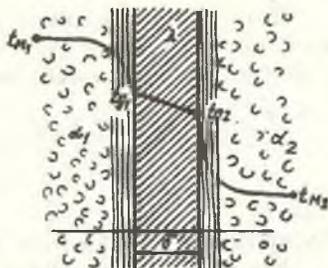
K нинг қийматини топиш учун иссиқ мухитдан совуқ мухитга текис девор орқали иссиқликнинг ўтиш жараёнини кўриб чиқамиз (9.16-расм).

Тургун жараён учун биринчи мухит марказдан деворга берилган, девордан ўтган ва девордан иккинчи мухит марказига берилган иссиқликнинг миқдори ўзаро тенг, яъни:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1 (t_{\text{м}1} - t_{\text{н}1}) F \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{н}1} - t_{\text{н}2}) F \\ Q &= \alpha_2 (t_{\text{н}2} - t_{\text{м}2}) F \end{aligned} \right\} \quad (9.90)$$

(9.90) ифодалардан қуйидагиларни олиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} t_{\text{м}1} - t_{\text{л}1} &= \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{\text{л}1} - t_{\text{л}2} &= \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{\text{л}2} - t_{\text{м}2} &= \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F} \end{aligned} \right\} \quad (9.91)$$



(9.91) тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини ўзаро қўшамиз:

$$t_{\text{м}1} - t_{\text{м}2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (9.92)$$

9.16-расм. Иссик мухитдан со-вук мухитга текис девор оркали иссиқликнинг ўтиш жараёни схемаси.

ёки

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F(t_{\text{м}1} - t_{\text{м}2}) \quad (9.93)$$

(9.89) ва (9.93) тенгламаларни ўзаро солиштириш натижасида текис девор учун қуйидаги ифодаларни олиш мумкин:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (9.94)$$

ёки

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (9.95)$$

Иссиқлик ўтказиш коэффициентига тесқари бўлган қиймат *иссиқлик ўтишининг термик қаршилиги* деб юритилади.

$\frac{1}{\alpha_1}$ ва $\frac{1}{\alpha_2}$ қиймат иссиқлик беришнинг термик қаршилиги,

$\frac{\delta}{\lambda}$ эса деворнинг термик қаршилигини ифодалайди.

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$K = \left[\frac{Q}{F \Delta t_{\text{др}} \cdot \tau} \right] = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right].$$

Шундай қилиб, иссиқлик ўтказиш коэффициенти K температураси юқори бўлган мухитдан температураси паст бўлган мухитга вақт бирлиги ичида ажратувчи деворнинг 1 м^2 юзасидан мухитлар температуралари фарқи 1 градус бўлганда ўтказилган иссиқликнинг миқдорини билдиради.

Қўш қатламли девордан иссиқлик ўтиш жараёнида ҳар бир қатламнинг термик қаршилиги ҳисобга олинади. Бу ҳолда K нинг қиймати қуйидаги тенглама билан топилади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (9.96)$$

бу ерда i — қатламнинг тартиб сони; n — қатламлар сони.

Кимёвий технологияда кўпинча иссиқлик труба юзаси орқали ўтади. Цилиндрсимон юзадан иссиқлик ўтишининг принципиал схемаси 9.4-расмда кўрсатилган. Труба ичида температураси t_1 бўлган иссиқ мухит бўлиб, ундан иссиқлик трубанинг ички юзасига берилади. Труба ташқарисида температураси t_2 бўлган совуқ мухит бор. Труба ташқи юзасидан совуқ мухитга иссиқликнинг берилиши α билан ифодаланади. Трубанинг баландлигини L , ички радиусини r_u , ташқи радиусини эса r_1 билан белгилаймиз. Цилиндрсимон юзадан ўтказилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$Q = K_R 2\pi t(t_1 - t_2). \quad (9.97)$$

K_R нинг қиймати эса ушбу тенглама билан ҳисобланади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{d_u r_u} + \frac{1}{\lambda} 2.31g \frac{r_1}{r_u} + \frac{1}{\alpha_1 r_1}}. \quad (9.98)$$

K_R иссиқлик ўтказишнинг чизикли коэффиценти деб аталади. Агар K нинг қиймати юза бирлигига нисбатан олинса, K_R нинг қиймати труба узунлигининг бирлигига нисбатан олинади. Шу сабабли $K_R = \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ўлчов бирлигига эга.

Қалин деворли цилиндрсимон юзани, жумладан, катта қалинликдаги изоляция қатлами билан қопланган трубаларни ҳисоблашда (9.97) ва (9.98) тенгламалардан фойдаланилади. Юққа деворли трубаларни ҳисоблашда эса (9.89) ва (9.94) тенгламалардан фойдаланиш мумкин.

9.10-§. ИССИҚЛИК БЕРИШ ВА ЎТКАЗИШ КОЭФФИЦИЕНТИНИНГ ҚИЙМАТЛАРИ

Саноат қурилмаларида олинган иссиқлик бериш ва иссиқлик ўтказиш коэффиценти (α ва K) нинг тахминий сон қиймати 9.3-ва 9.4-жадвалда берилган.

9.11-§. ИССИҚЛИК ЖАРАЁНЛАРИНИНГ ҲАРАКАТЛАНТИРУВЧИ КУЧИ

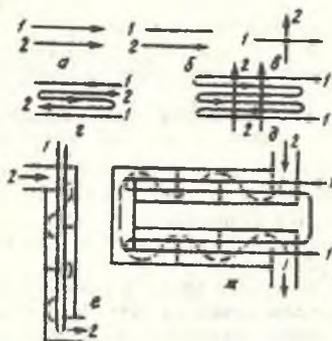
Мухитлар температураси ўртасида бирор фарқ бўлгандагина иссиқлик температураси юқори бўлган мухитдан температураси паст бўлган мухитга ўтади. Бундай температуралар фарқи

иссиқлик алмашиниш юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни улар бир хил қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳисоблашда ўртача температуралар фарқи $\Delta t_{ур}$ деган тушунча ишлатилади. Мухитнинг ўртача температуралар фарқи иссиқлик алмашиниш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи деб юритилади.

Суюқлик температурасининг иссиқлик алмашиниш юзаси бўйича ўзгариши мухитнинг ўзаро йўналишига боғлиқ (9.17-расм). Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқ ва совуқ суюқликлар ўзаро параллел (9.17-расм, а), қарама-қарши (9.17-расм, б) ёки ўзаро кесишган (9.17-расм, в) бўлиши мумкин. Бундан ташқари амалда иссиқлик ташувчи агентларнинг анча мураккаб схемалари ҳам учрайди (9.17-расм, г-ж).

Иссиқлик элткичларнинг йўналиши бир ёки қарама-қарши томонга йўналган бўлганда (9.18-расм), ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{ур} = \frac{\Delta t_{ка} - \Delta t_{ки}}{2,31g \frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{ки}}} \quad (9.99)$$



9.17-расм. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши:

а) бир хил; б) қарама-қарши; в) ўзаро кесишган; г) аралашган; д, е) кўп погонали ҳар томонлама; ж) кўп погонали бир томонлама; 1, 2 — иссиқлик ташувчи агентлар.

9.3-жа д в а л

Иссиқлик бериш шартлари	α , Вт/м ² ·К	Иссиқлик бериш шартлари	α , Вт/м ² ·К
Турбулент режимда: сувнинг труба ўқи бўйлаб ҳаракати	1000—5500	Сувнинг эркин ҳаракати	350—900
Сувнинг трубани кундаланг кесиб ўтган ҳаракати	3000—10 000	Сувнинг қайнаши	2000—2400
Ҳаво (газ)нинг труба ўқи бўйлаб ҳаракати	50—150	Сув бугининг конденсланиши	9000—15000
Ҳаво (газ)нинг трубани кундаланг кесиб ўтган ҳаракати	100—300	Органик суюқликни иситиш ва совитиш	140—400
Труба ўқи бўйлаб ламинар ҳаракатда: сув учун	300—430	Органик суюқликнинг қайнаши	300—3500
ҳаво учун	10—20	Органик суюқлик бугининг конденсланиши	230—3000

Иссиқлик алмашишининг тури ва муҳит	К, Вт/м ² ·К	
	мажбурий харакат	эркин харакат
Оддий босимда газдан газга	12—35	3,5—12
Газдан суюқликка	12—60	6—17
Конденсацияланаётган бугдан газга	12—120	6—12
Суюқликдан сувга	200—400	100—300
Суюқликдан органик суюқликка	120—300	30—60
Конденсацияланаётган бугдан сувга	500—1000	300—800
Конденсацияланаётган бугдан органик суюқликка	100—350	60—180
Органик моддалар конденсацияланаётган бугдан сувга	350—800	230—450
Конденсацияланаётган бугдан ковушоқли суюқликка	—	300—500

бу ерда $\Delta t_{ка}$ ва $\Delta t_{ки}$ — иссиқлик алмашиш қурилмасининг четларидаги температуранинг катта ва кичик фарқи. Температура фарқи қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\Delta t_{ка} = t_1 - t_2; \quad \Delta t_{ки} = t_1'' - t_2''$$

ёки

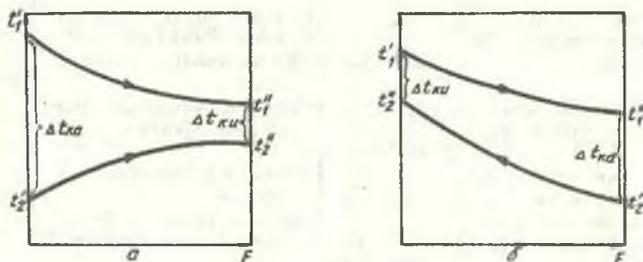
$$\Delta t_{ка} = t_1'' - t_2'; \quad \Delta t_{ки} = t_1' - t_2''$$

Агар $\Delta t_{ка}/\Delta t_{ки} < 2$ бўлса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ўр.}} = \frac{\Delta t_{ка} + \Delta t_{ки}}{2} \quad (9.100)$$

Бундай ҳисоблашда ҳағолик 4 % дан ортмайди. (9.99) тенгламадан кўрииб турибдики, агар $\Delta t_{ка} = 0$ ва $\Delta t_{ки} = 0$ бўлса, унда $\Delta t_{\text{ўр.}} = 0$; агар $\Delta t_{ка} = \Delta t_{ки}$ бўлса;

$$\Delta t_{\text{ўр.}} = \Delta t_{ка} = \Delta t_{ки}.$$



9.18-расм. Иссиқлик ташувчи агентлар температурасининг юза бўйича ўзгариши:

а) бир хил йўналишда; б) қарама-қарши йўналишда.

Агар иссиқлик ташувчи агентлардан бирининг температураси юза бўйича ўзгармаса (тўйинган бугнинг конденсацияланиши, суюқликнинг қайнаши), бундай шароитда $\Delta t_{\text{ўр}}$ нинг қиймати (9.99) ёки (9.100) тенгламалар бўйича ҳисобланади.

Агар иссиқлик элткичларнинг йўналиши ўзаро кесишса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \epsilon \Delta t \frac{\frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{ки}}}{\Delta t_{\text{ка}}}}{2,31g \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{ки}}}} \quad (9.101)$$

бу ерда $\epsilon \Delta t$ — муҳитнинг температуралари нисбатига боғлиқ бўлган коэффицент. Бу коэффицентнинг қиймати тегишли адабиётларда келтирилади.

9.12-§. ИССИҚЛИК ҲАҚИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ТЕЗЛАШТИРИШ

Қимё саноатидаги кўпчилик жараёнлар иссиқлик таъсирида боради ва бундай жараёнларни амалга ошириш учун турли иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилади. Ишлаб чиқаришнинг қувватини ошириш учун иссиқлик алмашиниш қурилмалари самарали ишлаши, содда бўлиши ва маҳсулот сифатига ёмон таъсир кўрсатмаслиги керак. Бундан ташқари, иссиқлик қурилмаларини тайёрлаш учун кам металл сарф бўлиши лозим. Бундай масалаларни ҳал қилиш учун иссиқлик алмашиниш жараёнларини тезлаштириш зарур.

Иссиқлик жараёнларини тезлаштириш қурилмалар иш унумдорлигини оширишга, уларнинг ўлчамини кичрайтиришга, ишлаб чиқариш хоналарининг сахнини камайтиришга олиб келади. Бу эса ўз навбатида иссиқлик қурилмаларини ишлатиш ва уларни созлаш учун кетаётган сарфни камайтиради, битта ишчига тўғри келадиган маҳсулот миқдорини оширади ва хоказо. Иссиқлик жараёнлари тезлатилганда материални иситиш учун кетган вақт камаяди, бу ҳол эса маҳсулот сифатини пасайтиришга олиб келмаслиги лозим.

Текис девор учун иссиқлик ўтказиш коэффицентини топишдаги қуйидаги тенгламани таҳлил қилиб кўрамиз:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Деворнинг термик қаршилигини камайтириш учун девор қалинлиги δ ни камайтириш ва девор материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти δ ни кўпайтириш керак. Конвектив иссиқлик алмашинишни (α_1 ва α_2) тезлаштириш учун суюқликни

аралаштириш ва оқимнинг тезлигини ошириш зарур. Агар иссиқлик нурланиш орқали тарқалаётган бўлса, нур чиқараётган юзанинг қоралилик даражасини ва унинг температурасини ошириш мақсадга мувофиқдир. Агар текис деворнинг термик қаршилиги ҳисобга олинмаса, бунда юқорида берилган тенглама куйидаги кўринишни олади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (9.102)$$

(9.102) тенгламадан кўриниб турибдики, K нинг қиймати ҳар доим α нинг энг кичик қийматидан ҳам кам бўлади.

Агар $\alpha_1 = 40 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, $\alpha_2 = 5000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ бўлса, у ҳолда $K = 39,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ бўлади. α_2 қийматининг ортиши K нинг қийматига таъсир қилмайди. $\alpha_1 = 40 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ ва $\alpha_2 = 10000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ бўлганда $K = 39,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ бўлади. K нинг қийматини ошириш учун кичик қийматли α нинг қийматини (бизнинг мисолда α_1 нинг қийматини) ўзгартириш лозим. Агар $\alpha_2 = 5000$ ва $\alpha_1 = 80$ бўлса, $K = 78,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$; $\alpha_1 = 200$ деб олинса, $K = 192 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Демак, $\alpha_1 \ll \alpha_2$ бўлса, жараёни тезлаштириш учун фақат α_1 нинг қийматини ошириш лозим экан. Агар $\alpha_1 \approx \alpha_2$ бўлса, бундай иссиқлик алмашилиш жараёнини тезлатиш учун иккала α_1 ва α_2 нинг қийматини ҳам ошириш мақсадга мувофиқдир.

Айрим техникавий ҳисоблашларда деворнинг термик қаршилигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади. Аммо бунда айрим хатоликларга йўл қўйилади. Бу хатоликларнинг қийматини ҳисоблаб кўриш лозим. Айниқса, K нинг қиймати катта бўлганда деворнинг термик қаршилиги ҳисобга олинishi шарт. Ишлаб чиқариш шароитида қурилма деворлари турли ифлосликлар билан қопланиб қолади. Бу деворнинг термик қаршилигини анча кўпайтиради. Масалан, сувнинг қаттиқлиги ҳисобига девор юзасига ўтириб қолган ифлослик 1мм қалинликдаги пўлат деворнинг термик қаршилигига тенг.

Девор устида ҳар хил ифлосликларнинг ўтириб қолиши, иссиқлик ўтказиш жараёнини секинлатишдан ташқари, деворнинг температурасини ҳам ошириб юборади. Баъзан девор температурасининг юқори бўлиб кетиши аварияга олиб келиши мумкин. Шу сабабдан иссиқлик кўрилмаларини ишлатишда девор юзасини ҳар хил ифлосликларнинг ўтириб қолишдан сақлаш зарур.

Иссиқлик алмашилиш жараёнларини куйидаги усуллар ёрдамида тезлаштириш мумкин: 1) иссиқлик элткичларнинг тезлигини кўпайтириш; 2) иситиш юзасини даврий равишда тозалаб туриш; 3) асосий суюқлик оқимини пульсацион тебранишлар орқали юбориш; 4) суюқликнинг юпқа қатлами ҳаракатини ташкил қилиш; 5) каттик материалларнинг донадор қатламидаги иссиқлик алмашилишда қатламини мавҳум қайнаш ҳолатига келтириш; 6) турбулизаторлар ёрдамида оқимнинг таркибини ўзгартириш ва бошқалар. Ҳар бир шароит учун тезлаштиришнинг тегишли усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 9.1. Иссиқлик алмашиниш жараёнларининг кимёвий технологиядаги ахамияти. Иссиқлик тарқалишининг печта принципиал тури мавжуд?
- 9.2. Иссиқлик элткичларнинг агрегат ҳолати ўзгармаган ва ўзгарган пайтдаги иссиқлик баланси тенгламалари қандай тузилади?
- 9.3. Иссиқлик ўтказувчанлик. Фурье қонуни. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси.
- 9.4. Иссиқликнинг пуриланиши. Стефан-Больцман ва Кирхгоф қонунлари.
- 9.5. Конвектив иссиқлик алмашиниш. Ньютон қонуни. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенгламаси.
- 9.6. Конвектив иссиқлик алмашинишнинг умумий критериял тенгламалари. Ўхшашлик мезонларининг мазмуни.
- 9.7. Бугнинг конденсацияланиши ва суюқликнинг қайнашидаги иссиқлик беришнинг энг муҳим томонлари нималардан иборат?
- 9.8. Донатор материалларнинг қўзғалмас ва мавҳум қайнаш катламидаги иссиқлик бериши қандай ҳисоблаш мумкин?
- 9.9. Иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси. Иссиқлик ўтказиш коэффициентининг мазмуни нимадан иборат?
- 9.10. Цилиндрсимон юздан ўтган иссиқликнинг миқдорини қандай аниқлаш мумкин?
- 9.11. Иссиқлик бериш ва иссиқлик ўтказиш коэффициентлари ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор?
- 9.12. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи қандай факторларга боғлиқ бўлади ва қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 9.13. Иссиқлик ўтказиш жараёнларини тезлаштиришнинг мазмуни нимадан иборат? Уни қайси усуллар ёрдамида тезлаштириш мумкин?

10-БОБ. ИСИТИШ, СОВИТИШ ВА КОНДЕНСАЦИЯЛАШ

10.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧЛАР

Кимё саноатида суюқлик ва газларни иситиш ва совитиш, буғларни конденсациялаш каби иссиқлик жараёнлари кенг тарқалган. Бундай жараёнлар иссиқлик алмашиниш қурилмаларида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашиниш жараёнларида қатнашувчи моддалар *иссиқлик ташувчи агентлар* (ёки иссиқлик элткичлар) деб юритилади. Юқори температурага эга бўлиб, ўзидан иссиқликни иситилаётган муҳитга берувчи моддалар *иситувчи агентлар* деб юритилади. Совитилаётган муҳитга нисбатан паст температурага эга бўлган ва ўзига муҳитдан иссиқликни олувчи моддалар *совитувчи агентлар* деб аталади.

Кимёвий технологияда кўпинча бевосита иссиқлик манбаи сифатида ёқилгиларнинг ёнишидан ҳосил бўлган газлар ва электр энергияси ишлатилади. Бундай бевосита иссиқлик манбаларидан иссиқлик олиб, ўзининг иссиқлигини қурилмаларнинг деворлари орқали иситилаётган муҳитга берувчи моддалар *оралиқ иссиқлик ташувчи агентлар* деб аталади.

Оралик иссиқлик ташувчи агентлар қаторига сув буғи, иссиқ сув ва юқори температурали иссиқлик ташувчи моддалар

(киздирилган сув, минерал мойлар, органик суюқликлар ва уларнинг буглари, суюлтирилган тузлар, суюқ металллар ва уларнинг қотишмалари) киради.

Оддий температурагача ($10 \div 30^\circ\text{C}$) совитиш учун сув ва ҳаво каби совитувчи агентлар кенг ишлатилади.

Иссиқлик ташувчи агентларни танлашда уларнинг қуйидаги хоссаларига аҳамият бериш керак: 1) керакли муҳитни иситиш ёки совитиш даражаси ва уни бошқариш; 2) минимал массавий ва ҳажмий сарфларда юқори иссиқлик алмашилиш тезлигига эришиш; 3) қовушоқлиги кам, зичлик, иссиқлик сигими ва буг ҳосил бўлиш иссиқлиги юқори; 4) ёнмайдиган, захарсиз, иссиқликка чидамли бўлгани маъқул; 5) иссиқлик алмашилиш қурилмаси тайёрланган материални бузмаслиги керак; 6) камёб бўлмаслиги ва арзон бўлиши зарур.

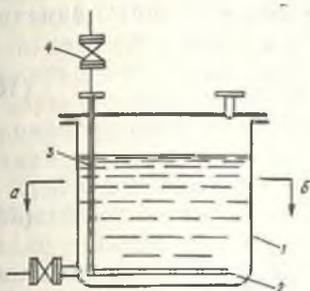
Кўпчилик шароитларда иситувчи агентлар сифатида ишлаб чиқаришдан чиқаётган маҳсулотлар, ярим маҳсулотлар ва чиқиндиларнинг иссиқликларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир.

10.2-§. СУВ БУҒИ БИЛАН ИСИТИШ

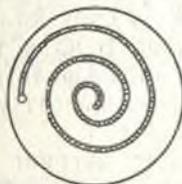
Саноатда иситувчи агент сифатида тўйинган сув буги кенг ишлатилади. Сув буги бир қатор афзалликларга эга. Бугнинг конденсацияланишида катта миқдорда иссиқлик ажралади, чунки бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги $9,8 \cdot 10^4$ Па босимда $2,26 \cdot 10^6$ Ж/кг га тенг. Конденсацияланган буг орқали иссиқлик бериш коэффиценти юқори: $\alpha = 10^4 \div 1,2 \cdot 10^4$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$). Натижада иситиш учун жуда кам юза талаб қилинади.

Тўйинган сув буги маълум бир босимда бир хил температурада конденсацияланади, бу унинг катта афзаллиги ҳисобланади. Натижада тегишли иситиш температурасини жуда аниқ ушлаб туриш имконияти пайдо бўлади. Керак бўлган шароитда бугнинг босимини ўзгартириш йўли билан иситиш даражасини бошқариш мумкин. Буг конденсатидан фойдаланиш натижасида ҳам иситувчи қурилмаларнинг фойдали иш коэффиценти анча юқори бўлади. Сув буги ёнмайди ва ундан фойдаланиш анча қулай. Сув бугининг температураси ортиши билан унинг босими ҳам ортади. Бу ҳол сув бугининг асосий камчилигидир. Шу сабабли амалда тўйинган сув буги ёрдамида фақат $150 \div 180^\circ\text{C}$ гача иситиш мумкин (бунда босим $0,5 \div 1,2$ МПа га тенг бўлади). Катта босимли бугни ишлатиш учун қалин деворли ва қимматбаҳо қурилмалар керак бўлади.

Ўткир буг билан иситиш. Бунда сув буги тўғридан-тўғри иситилаётган суюқликка киритилади. Бугнинг конденсацияланишида ажралиб чиқаётган иссиқлик суюқликка ўтади, ҳосил бўлган конденсат эса суюқлик билан аралашади. Суюқликни бир пайтнинг ўзида иситиш ва аралаштириш учун барботёр (майда тешиқлари бўлган труба) орқали сув буги юборилади (10.1- расм). Ўткир буг билан иситиш жараёнида иситилаётган суюқлик конденсат

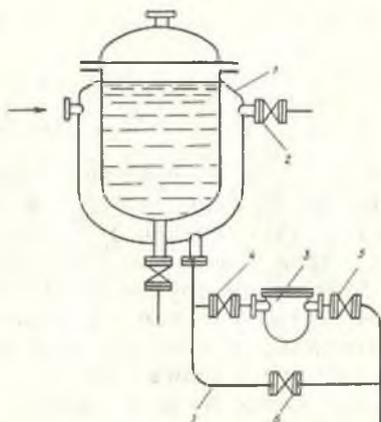


о-б бўйича



10.1- расмда. Ўткир буг билан иситиш:

1 — резервуар; 2 — барбутёр; 3 — буг кирувчи труба; 4 — вентиль.



10.2- расм. Кучсиз буг билан иситиш:

1 — иситувчи қобик; 2 — ҳаво чиқариш учун пентиль; 3 — сўн ажраткич; 4, 5, 6 — вентиллар; 7 — айланма линии.

ҳисобига анча суёлтирилади. Шу сабабли одатда ўткир буг сув ва сувли эритмаларни иситиш учун ишлатилади.

Сууюкликларни иситиш учун керак бўлган ўткир бугнинг сарфи қуйидаги иссиқлик баланси орқали топилади:

$$Gct_1 + DJ_6 = Gct_2 + Dc_k t_2 + Q_n \quad (10.1)$$

бу ерда G — иситилаётган сууюклик миқдори, кг/с; D — иситувчи бугнинг сарфи, кг/с; c — иситилаётган сууюкликнинг ўртача солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг·К); t_1, t_2 — сууюкликнинг иситишдан олдинги ва кейинги температуралари, К; J_6 — иситувчи бугнинг солиштирма энтальпияси (иссиқлик ушлаши), Ж/кг; c_k — конденсатнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг·К); Q_n — қурилманинг атроф муҳитга йўқотган иссиқлиги, Вт (сарф бўлган иссиқликнинг $3 \div 5\%$ ни ташкил этади).

Бундан ўткир бугнинг сарфи:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_n}{J_6 - c_k t_2} \quad (10.2)$$

Кучсиз буг билан иситиш. Бунда иссиқлик бугдан сууюликка бирор ажратувчи девор (масалан, қобикли ва змеевикли қурилмаларда) орқали ўтади. Иситувчи буг тўла конденсацияланади ва у қурилманинг иситиш бўшлигидан конденсат сифатида чиқарилади (10.2-расм). Конденсат температурасини бугнинг тўйиниш температурасига тенг деб олиш мумкин.

Кучсиз бугнинг сарфи куйидаги иссиқлик балансидан топилади:

$$Gct_1 + DJ_0 = Gct_2 + DJ_k + Q_n \quad (10.3)$$

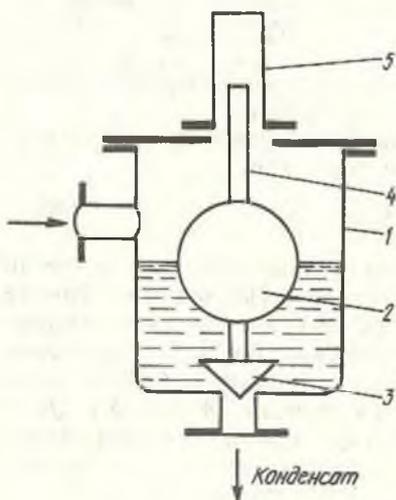
ёки

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_n}{J_0 - J_k} \quad (10.2)$$

бу ерда J_k — конденсат энтальпияси, Ж/кг.

Иситиш бўшлигида буг ушланиб қолган ҳолатда конденсатни чиқариш учун конденсат узатувчилар (ёки сув ажратгичлар) ишлатилади. Конденсат узатувчилар ёпик ва очик қалковичли, биметалл текис пружинали бўлиши мумкин. Бундан ташқари, конденсат узатувчилар сифатида махсус шайба ва филтрлар ҳам ишлатилади. 10.3-расмда ёпик қалковичли конденсат узатувчининг схемаси берилган.

Ёпик қалковичли конденсат узатувчилар бугнинг абсолют босими 1 мПа дан юқори бўлганда ишлатилади. Қурилманинг ичига конденсат кирганида қалкович юқорига силжийди, бу

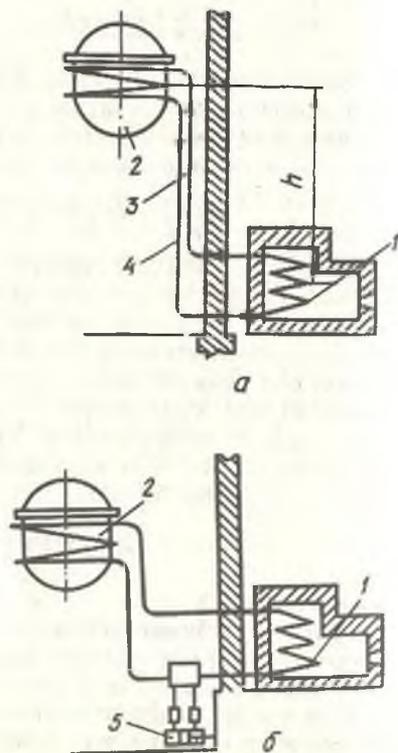


10.3- расм. Ёпик қалковичли конденсат узаткич:

1 — қобик; 2 — қалкович; 3 — клапан; 4 — стержень; 5 — йўналтувчи стакан.

10.4- расм. Суюқ иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида иситиш қурилмаси:

а) табиий циркуляция; б) мажбурий циркуляция; 1 — змеевик; 2 — иссиқлик сарфлайдиган аппарат; 3, 4 — кўтариш ва тушириш трубуляри; 5 — циркуляцияли насос.



пайтда клапан очилиб конденсат чиқарилади. Конденсат чиқиб бўлгандан сўнг қалқович пастга тушади ва клапан чиқариш тешигини беркитади. Қалқовичнинг вертикал ҳолати стержень ва йўналтирувчи стакан ёрдамида ушлаб турилади. Агар конденсат маълум меъёрадаги сарф билан қурилмага узлуксиз равишда киритиб турилса, бунда клапан ҳам маълум даражада доим очик бўлади.

Кучсиз буг ишлатилганда иситиш бўшлигида конденсланишга учрамайдиган газлар (кўпинча ҳаво) йиғилиб қолади. Бундай газлар одатда сув буги билан бирга қурилманинг иситиш бўшлигига кириб қолади. Газларнинг йиғилиб қолиши бугнинг конденсацияланиши пайтидаги иссиқлик бериш коэффициентини кескин камайтириб юборади. Шу сабабли иситиш бўшлигида йиғилиб қолган газлар қурилмадан даврий равишда чиқарилиб турилиши шарт. Бу мақсад учун қурилмада вентилли штуцер ўрнатилган бўлади.

10.3-§. ИССИҚ СУВ БИЛАН ИСИТИШ

Иссиқ сув ёрдамида одатда 10°C гача иситиш мумкин. 10°C дан юқори температурада иситиш учун юқори босимли иссиқ сув ишлатилади. Баъзан иситиш учун сув бугининг конденсатидан фойдаланилади. Иссиқ сув тутун газлари билан иситиладиган сув иситувчи қозонларда ва буг ёрдамида ишлайдиган иситкичлар- (бойлерлар) да олинади.

Иссиқ сув билан иситиш бир қатор камчиликларга эга. Иссиқ сув орқали иссиқлик бериш коэффициенти конденсацияланаётган буг орқали иссиқлик бериш коэффициентига нисбатан анча кам. Иссиқлик алмашиниш ҳолати бўйлаб иссиқ сувнинг температураси ўзгариб боради, бу ҳол эса бир текисда иситишни ташкил қилиш ва иситиш жараёнини бошқаришни қийинлаштиради. Айрим шароитларда юқори температураларгача иситиш учун ўта қиздирилган сув ишлатилади. Бундай сув иситувчи агент сифатида критик босимларда (22 МПа) ишлатилади. Бундай критик босимга 347°C температура тўғри келади. Шу сабабли ўта қиздирилган сув ёрдамида материалларни тахминан 350°C гача иситиш мумкин. Бунда иситиш юқори босимни ишлатиш билан боғлиқ бўлганлиги сабабли иситиш қурилмаси мураккаблашади ва у қиммат туради.

Ўта қиздирилган сув ёки бошқа суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида иситиш табиий ёки мажбурий циркуляция билан ишлайдиган қурилмаларда олиб борилади.

Табиий циркуляция билан ишлайдиган қурилма (10.4-расм,а) тутун газлари билан исийдиган змеевик, иссиқлик сарфлайдиган қурилма ва суюқликни кўтариш ва туширишга мўлжалланган трубалардан таркиб топган. Змеевик ўтхонада ёқилгининг ёнишидан ҳосил бўлган газлар ёрдамида қиздирилади. Змеевикнинг ичида қиздирилган суюқлик кўтариш трубаси орқали иссиқлик сарфлайдиган қурилмага тушади ва ўз иссиқлигини иситилиши лозим бўлган суюқликка беради. Натижада иссиқлик

ташувчи суюклик совийди. Температураси пасайган суюклик тушириш трубаси орқали ўтхонада жойлашган змеевикка қайтади. Шундай қилиб, берк системада совуқ ва иссиқ суюклик зичликларининг фарқи таъсирида табиий циркуляция юз беради. Бундай шароитда сувнинг тезлиги 0,2 м/с га тенг бўлади. Трубалар коррозиясини камайтириш ва конденсацияланмайдиган газларнинг ажралишини йўқотиш учун иситиш системаси дистилланган сув билан тўлдирилиши зарур.

Табиий циркуляцияли қурилмаларнинг яхши ишлаши учун иссиқлик сарфловчи қурилма ўтхонага нисбатан энг камида $4 \div 5$ м баландликда жойлашган бўлиши керак. Натижада иситиш қурилмасининг умумий баландлиги анча катта қийматга эга бўлади. Аммо бу шароитда ҳам суюкликнинг тезлиги анча кичикдир, шу сабабли табиий циркуляцияли иситиш қурилмаларининг иш унуми юқори эмас.

Мажбурий циркуляцияли қурилмада (10.4-расм, б) ўтхона ва иссиқлик сарфловчи қурилма ўртасидаги суюклик насос ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Мажбурий циркуляция ёрдамида суюкликнинг тезлиги 2—2,5 м/с ва ундан каттароқ бўлиши мумкин, натижада иссиқлик алмашилиш жараёнининг самарадорлиги ҳам кўпаяди. Бундай схемада иссиқлик сарфловчи қурилмани ўтхонадан юқорига кўтариш керак эмас. Бу қурилмада битта ўтхона бир неча қурилмани иссиқлик билан таъминлаши мумкин. Бироқ циркуляция учун насоснинг ишлатилиши қурилмани ва уни ишлатишни қимматлаштиради.

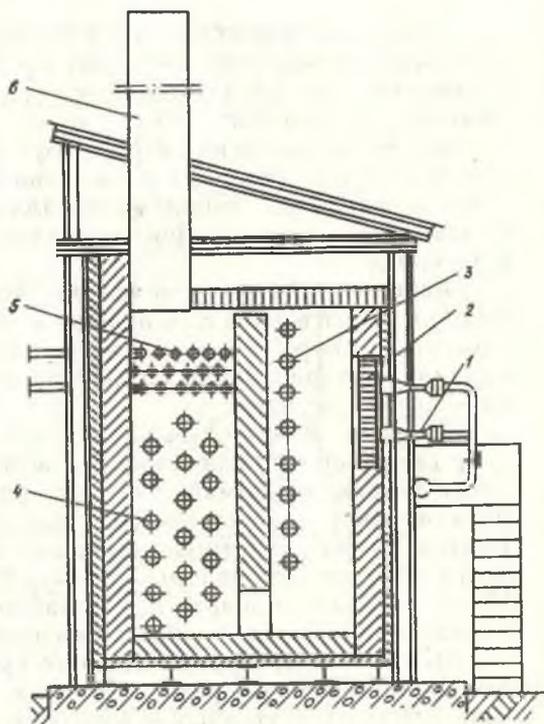
10.4-§. ТУТУН ГАЗЛАРИ БИЛАН ИСИТИШ

Тутун газлари билан иситиш кимё саноатида ишлатилиб келинаётган энг эски усуллардан бири ҳисобланади. Тутун газлари суюқ, қаттиқ ва газсимон ёқилгиларнинг ёнишидан ҳосил бўлади. Буларнинг ичида табиий газлар энг арзон ва самарали ёнилғидир. Улар ёрдамида юқори температурагача (1000—1100°C) иситиш мумкин. Кўпинча тутун газларидан бошқа оралик иссиқлик ташувчи агентларни иситиш учун фойдаланилади. Бунда тутун газларидаги иссиқлик бирор девор оралик иссиқлик ташувчи агентларга ўтказилади.

Тутун газлари қатор камчиликларга эга: иссиқлик алмашилишида газларнинг совиши натижасида бир текисда иситиш мумкин эмас; иситиш температурасини бошқариш қийин; газдан деворга иссиқлик бериш коэффиценти кичик ($35 \div 60$ Вт/(м²·К) дан кўп эмас); иситиш юзалари ифлосланиши мумкин; солиштирма иссиқлик сизими кичик бўлганлиги сабабли газнинг ҳажмий сарфи катта ва уни узатиш анча қимматга тушади. Тутун газларини олинган жойида ишлатиш мақсадга мувофиқдир.

Булардан ташқари, кимё ва бошқа саноат ишлаб чиқаришларида ҳосил бўладиган юқори температурали чиқинди газлардан иситувчи агент сифатида фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан анча фойдалидир. Чиқинди газларнинг температураси баъзан 500—600°C гача етади.

Тутун газлари билан иситиш ўтхоналарида олиб борилади. 10.5-расмда газсимон ёкилги билан ишлайдиган труба ўтхона кўрсатилган. Бундай қурилма суюқликларни иситишга мўлжалланган. Ёнувчи газ соплодан чиқаётганда керакли микдордаги ҳаво билан аралашади, сўнгра бу аралашма ўтга чидамли материалдан тайёрланган говаксимон панелдан ўтади. Ёниш жараёни нурланувчи панелнинг юзасида боради. Ҳосил бўлган тутун газлари энг аввал ўтхонанинг радиант қисмига киради, бу ерда иссиқликнинг асосий улуши змеевикнинг ичида ҳаракат қилаётган суюқликка нурланиш орқали берилади. Ўтхонанинг конвектив қисмида эса иссиқлик змеевикдаги суюқликка асосан конвекция усули билан берилади. Ўтхонанинг конвектив қисмида иссиқликдан янада тўлароқ фойдаланиш мақсадида кўшимча иссиқлик алмашилиш қурилмалари (масалан, змеевикли киздиргич) ўрнатилади.



10.5- рася. Газсимон ёкилги билан ишлайдиган труба ўтхона:

1 — сопло; 2 — ўтга чидамли говаксимон панел; 3 — радиант қисм (змеевик); 4 — конвектив қисм (змеевик); 5 — киздиргич; 6 — тутунли газ чиқувчи труба.

Тутун газлари билан иситишда ёкилгининг сарфи иссиқлик баланси тенгнамаси орқали топилади: агар газ ҳолидаги ёкилгининг сарфини B , тутун газларининг иссиқлик қурилмасига киришидаги энтальпиясини J_1 ва қурилмадан чиқишдаги энтальпиясини J_2 деб олинса, у ҳолда иссиқлик баланси тенгнамаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$B = (J_1 - J_2) = Gc(t_2 - t_1) + Q_n \quad (10.5)$$

Бундан:

$$B = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_n}{J_1 - J_2} \quad (10.6)$$

бу ерда G — иситилаётган мухитнинг сарфи; c — иситилаётган мухитнинг уртача солиштирма иссиқлик сизими; t_1 ва t_2 — иситилаётган мухитнинг бошланғич ва охири температуралари; Q_n — атроф мухитга иссиқликнинг йўқотилиши. Q_n нинг таркибига газларнинг кимёвий тўла ёнмаслиги, уларнинг диссоцияланиши ҳамда қаттиқ ёкиқининг тўла ёнмаслиги сабабли йўқолган иссиқлик сарфлари ҳам қиради.

10.5-§. ЮҚОРИ ТЕМПЕРАТУРАЛИ МОДДАЛАР БИЛАН ИСИТИШ

Кимё саноатида кўпинча иситиш жараёнлари юқори температурали иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида олиб борилади. Юқори температурали иссиқлик ташувчи моддалар (ўта қиздирилган сув, минерал ёғлар, юқори температурада қайновчи органик суюқликлар ва уларнинг буглари, суюлтирилган тузлар, симоб ва суюқ металллар) иссиқликни тутунли газлар ёки электр токидан олади ва бошқа материалларга беради. Шу сабабли бундай моддалар оралик иссиқлик ташувчи агентлар деб юритилади.

Минерал мойлар билан иситиш. Бу усул ўта қиздирилган сув билан иситишга нисбатан оддий ва арзондир. Бундан ташқари, системада юқори босим ишлатиш шарт эмас. Минерал мойлар ёрдамида материалларни энг кўпи билан 250—300°C температурагача иситиш мумкин.

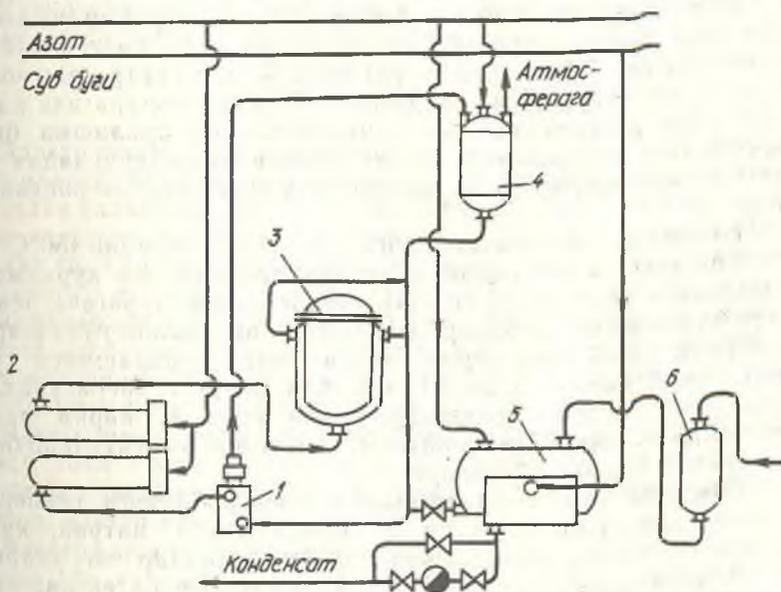
Минерал мойлар энг арзон органик суюқликлар. Аммо улар ҳам қатор камчиликларга эга: иссиқлик бериш коэффициентини кичик, иссиқлик алмашилиш юзасида ифлосланишлар пайдо бўлади, юқори температурада мойлар оксидланиши мумкин. Иситиш қурилмаси етарли даражада яхши ишлаши учун мой ва иситилаётган маҳсулот температураси орасидаги фарқ ками билан 15—20°C бўлиши шарт. Шу сабабли ҳозирги кунда минерал мойлар билан иситиш жуда кам ишлатилади.

Юқори температурали органик суюқликлар билан иситиш. Бундай иссиқлик ташувчи агентлар суюқлик ҳолатида ҳам, буг ҳолатида ҳам ишлатилиши мумкин ва тахминан 400°C гача иситиш учун ишлатилади. Булар қаторига глицерин, нафталин, этиленгликол, дифенил, дифенил эфир, дитолілметан, минерал ёғлар, кремнийорганик суюқликлар ва бошқалар қиради.

Кимё саноатида 26,5 % дифенил ва 73,5 % дифенил эфирдан таркиб топган дифенил аралашмаси кенг ишлатилади. Бу аралашма куйидаги параметрларга эга бўлиши мумкин. Масалан, $t_{\text{қай}} = 258^\circ\text{C}$, $P = 0,1$ МПа бўлганда $r = 285$ кЖ//кг; $t_{\text{қай}} = 380^\circ\text{C}$, $P = 0,8$ МПа бўлганда $r = 220$ кЖ/кг.

Дифенил аралашмасининг асосий афзаллиги шундаки, бу иссиқлик ташувчи агент ёрдамида кичик босим билан юқори температура олиш имкони бор. Масалан, 300°C температурада тўйинган сув бугининг босими $8,8\text{ МПа}$ га тенг бўлса, дифенил аралашмаси бугининг босими эса фақат $0,24\text{ МПа}$ га тенг бўлади. Шу сабабли дифенил аралашмаси ёрдамида юқори температурага-ча қиздириш учун катта босимга мосланган змеевиклар ўрнига оддий қобиқли иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ишлатиш мумкин. Дифенил аралашмаси бошқа органик иссиқлик ташувчи агентлар каби айрим камчиликларга эга: аралашманинг буг хосил килиш иссиқлиги кичик; аралашманинг ёниб кетиш хусусияти бор.

Буг ҳолидаги дифенил аралашмаси ёрдамида 380°C гача қиздириш мумкин. Бундан ҳам юқори температурада дифенил аралашмасида парчаланиш жараёни юз беради.



10.6- расм. Дифенил аралашмаси билан мажбурий циркуляция воситасида иситиш қурилмаси:

1 — марказдан қочма насос; 2 — электр токи билан қиздириладиган қозон; 3 — иссиқлик сарфлайдиган аппарат; 4 — кенгайтирилган идиш; 5 — қабул қилувчи идиш; 6 — филтёр.

10.6- расмда суюқ ҳолдаги дифенил аралашмаси билан ишлайдиган мажбурий циркуляцияли иситиш қурилмасининг схемаси кўрсатилган. Аралашма электр токи билан ишлайдиган қозонда қиздирилади ва сўнгра иссиқлик сарфлайдиган қурилмага юборилади. Схемда циркуляция марказдан қочма насос орқали амалга оширилади. Аралашманинг ҳажми қиздириш пайтида кенгайди, шу сабабдан иссиқлик сарфлайдиган қурилмадан сўнг махсус идиш жойлаштирилган. Аралашма ўз иссиқлигини бериб, температураси пасайгандан сўнг насос ёрдамида қайтадан

қизитиш қозонига юборилади. Системага боришдан олдин аралашма қабул қилувчи идишда сув буги ёрдамида қиздирилади. Аралашма қабул қилувчи идишга фильтр орқали ўтади. Иш давомида аралашманинг жуда оз қисмигина йўқотилиши мумкин. Бунда системага қабул қилувчи идишдан керакли микдорда аралашма ўтказилади.

Дифенил аралашмасининг ҳаво билан контактлашган пайтидаги оксидланишини йўқотиш мақсадида ҳамма идишлардаги суюқликнинг устки юзасига инерт газ (азот) юборилади. Қозоннинг электр иситкичлари камерасига ҳам азот берилади, бу билан портлаш хавфининг олди олинади, натижада иш пайтидаги хавфсизлик таъминланади.

Суюлтирилган тузлар билан иситиш. Кимёвий технологияда ўта юқори температураларгача иситиш учун аорганик суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи агентлар (суюлтирилган тузлар ва суюқ металллар) ишлатилади. Амалда нитрит-нитрат аралашмасидан кенг фойдаланилади. Бу аралашма 40 % (масса бўйича) натрий нитрит, 7 % натрий нитрат ва 53 % калий нитратдан иборат бўлиб, атмосфера босимида 500—540°C температурагача қиздириш учун ишлатилади. Уч компонентли бу аралашма билан иситишда мажбурий циркуляция ишлатилади. Циркуляция учун махсус пропеллерли ёки марказдан қочма насослардан фойдаланилади.

Нитрит-нитрат аралашмаси билан маҳсулотларни 450°C гача қиздирилганда углеродли пўлатдан тайёрланган қурилмалар коррозияга учрамайди. Бундан юқори температурагача иситиш учун қурилма ва трубалар хромли ва хромникелли пўлатлардан тайёрланган бўлиши керак. Нитрит-нитрат аралашмаси кучли оксидловчи ҳисобланади. Шу сабабли юқори температурада бу аралашма органик моддалар ҳамда қора ва айрим рангли металллар (алюминий, магний) нинг кипиқлари ва кукунлари билан контактда бўлмаслиги зарур.

Симоб ва суюқ металллар билан иситиш. 300—380°C температурагача қиздириш учун симоб ҳамда литий, натрий, калий, кўргошин каби осон суюқланадиган металллар ва уларнинг қотишмалари ишлатилади. Бу иссиқлик ташувчи агентлар қатор афзалликларга эга: зичлиги катта, юқори температура таъсирига чидамли, иссиқлик ўтказувчанлиги яхши, иссиқлик бериш коэффициенти катта. Суюқ металллар ва уларнинг қотишмалари учун Прандтл мезони жуда кичик қийматга эга ($Pr \leq 0,77$). Шу сабабли суюқ металллар орқали иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблаш учун махсус тенгламалардан фойдаланилади.

Қўпчилик суюқ металллар ёниш ёки портлаш хусусиятига эга эмас ҳамда кам углеродли ва кам легирилган пўлатга салбий таъсир кўрсатмайди. Булар ичида фақат калий ва натрий кучли кимёвий активликка эга бўлиб, тезлик билан портлаб ёниши мумкин ҳамда зангламайдиган пўлат ишлатишни талаб қилади.

Симоб буг ҳолида ишлатиладиган ягона иссиқлик ташувчи металлдир. Симоб буглари жуда кичик босимга эга (масалан,

400°C учун 0,2 МПа тўғри келади). Саноатда симоб буги ёрдамида табиий циркуляцияли ва юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлган қурилмалар ишлатилади. Симоб буги жуда захарли бўлгани учун бундай қурилмалардан қисман фойдаланилади.

Осон суюкланадиган металллар (симоб, натрий, калий ва унинг қотишмаларидан ташқари) асосан иситувчи қурилмаларда оралик иссиқлик ташувчи агент сифатида ишлатилади. Баъзан улардан табиий ва мажбурий циркуляцияли иситиш қурилмаларида ҳам фойдаланилади.

Қўрғошин ва висмутдан иборат қотишма юқори иссиқлик бериш коэффициентига эга бўлганлиги сабабли самарали иссиқлик ташувчи агент бўлиб, ишлатиш анча хавфсиз ҳисобланади. Симоб, қўрғошин ва унинг қотишмаси кимёвий реакторларда реакция иссиқлигини ажратиб чиқариш учун ишлатилмоқда.

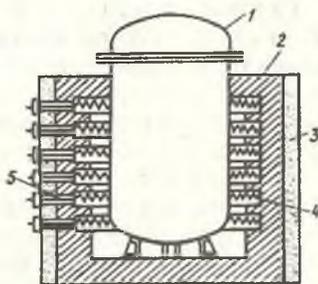
Ҳозирги кунда суюқ металллардан атом электр станцияларида фойдаланиш алоҳида аҳамият касб этмоқда.

10.6-§. ЭЛЕКТР ТОКИ БИЛАН ИСИТИШ

Электр токи ёрдамида материалларни жуда кенг температура интервали бўйича иситиш мумкин. Иситиш даражасини жуда аниқ ва тезлик билан бошқариш мумкин. Бу ҳол технология жараёнларини тегишли режим билан амалга оширишни таъминлайди. Бундан ташқари, электр ёрдамида иситиш қурилмалари ўзининг соддалиги, ихчамлиги ва ишлатиш осонлиги билан бошқа қурилмалардан ажралиб туради. Аммо ҳозирча электр токи билан иситиш нисбатан қimmatга тушади. Кейинчалик катта электр станцияларининг қурилиши натижасида бу усул билан иситишни арзонлаштириш имкониятлари туғилди.

Электр тоқини иссиқлик энергиясига айлантириш усулига кўра электр токи билан иситиш бир неча турга бўлинади: электр қаршилиги ёрдамида иситиш, индукцион иситиш, юқори частотали иситиш, электр ёйи билан иситиш.

Электр қаршилиги билан иситиш. Бу энг кўп тарқалган электр токи билан иситиш усулидир. Бу усул ёрдамида 1000—1100°C гача иситиш мумкин. Иситиш жараёни электр печларида олиб борилади. 10.7-расмда электр қаршилиги ёрдамида ишлайдиган иситиш қурилмасининг схемаси кўрсатилган. Бу ерда махсус иситиш элементлари орқали электр тоқи ўтганда иссиқлик ажралиб чиқади, ажралиб чиққан иссиқлик материалга нурланиш, иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция усулларида берилади. Печнинг футеровкаси



10.7-расм. Электр қаршилиги билан иситиш қурилмаси:

1 — иситиш апарати; 2 — футеровка;
3 — изоляция қатлами; 4 — спиралсимон
иситиш элементлари; 5 — электрошиналар.

оловга чидамли гиштан тайёрланган. Футеровканинг пазларида спиралсимон иситиш элементлари жойлаштирилган бўлиб, уларга электрошиналар ёрдамида ток берилади. Иситиш элементларидан ажралиб чиққан иссиқлик иситилиши лозим бўлган қурилмага берилади. Атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилишини камайтириш учун қурилма изоляция қатлами билан қопланган.

Иситиш элементлари нихром қотишмасидан тайёрланган сим ёки лентадан иборат. Нихром қотишмасининг таркибида 20 % хром, 30—80 % никель ва 0,5—50 % темир бўлиши мумкин.

Индукцион иситиш. Бу усул ўзгарувчан электр майдони таъсирида пўлатдан тайёрланган қурилма девори қалинлигида ҳосил бўладиган уярмавий ток ёрдамида ажралиб чиқадиган иссиқликдан фойдаланишга асосланган. Индукцион усул материаллари 400°C гача бир меъёрада иситиш ва тегишли иситиш даражасини жуда аниқ тутиб туриш имконини беради. Бундай электр иситкичлар жуда кичик иссиқлик инерциясига эга, температурани жуда аниқ бошқаришни таъминлайди, иситкичларнинг ишини тўла автоматлаштириш мумкин. Лекин индукцион усул билан иситиш қимматга тушади. Бу унинг асосий камчилиги ҳисобланади. Иситишни арзонлаштириш учун қурилмадаги маҳсулот дастлаб тўйинган сув буги ёрдамида тахминан 180°C гача қиздирилади, сўнгра маҳсулотнинг температураси тегишли қийматгача индукцион иситиш ёрдамида кўтарилади.

Юқори частотали иситиш. Бу усул электр токини ўтказмайдиган материаллар (диэлектриклар) ни иситиш учун ишлатилади, шу сабабли бу усул диэлектрик иситиш деб ҳам юритилади. Юқори частотали иситишнинг принципи қуйидагидан иборат. Материал ўзгарувчан электр майдонига жойлаштирилади. Бунда материал молекулалари майдон частотаси билан тебранма ҳаракатга кела-бошлайди ва қутбланиш жараёни юз беради. Заррачаларнинг тебранма ҳаракат энергияси диэлектрик молекулалари орасидаги ишқаланишни енгил учун сарфланади ва у иситилаётган материал массасида иссиқликка айланади.

Иситиш учун 10 дан 100 МГц гача юқори частотали электр токи ишлатилади. Юқори частотали ток лампани генераторда ҳосил қилинади. Бундай генераторда 50 Гц частотали оддий ўзгарувчан ток юқори частотали токка айлантирилади. Юқори частотали ток билан конденсаторнинг пластинкалари таъминланади. Пластинкалар ўртасига иситилиши лозим бўлган материал жойлаштирилади.

Кимёвий технологияда юқори частотали иситишдан пластик массаларни иситиш, айрим материалларни қуриштириш ва бошқа мақсадларда фойдаланилади. Иситиш температурасини осон ва аниқ бошқариш ҳамда иситиш жараёнини тўла автоматлаштириш мумкин. Бироқ бу усул мураккаб қурилмалардан фойдаланишни талаб қилади, иситиш қурилмаларининг фойдали иш коэффициенти эса кичик. Шу сабабли юқори частотали иситиш усулидан (бошқа арзон усулларни қўллаш мумкин бўлмаган тақдирда) қимматбаҳо материалларни қуриштиришда фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Электр ёйи билан иситиш. Бу жараён электр ёйи ёрдамида ишлайдиган печларда олиб борилади. Печлардаги электродлар орасида электр ёйи алангаси таъсирида электр энергияси иссиқлик энергиясига айлантирилади. Электр ёйи ёрдамида кичик хажмда кучли электр қувватини ҳосил қилиш мумкин. Бундай шароитда ўта кизиган газ ва буглар плазма ҳолига ўтади. Натижада 3000°C гача температура ҳосил қилиш мумкин. Электр ёйи билан ишлайдиган печларда бир текис иситиш ва температурани аниқ бошқариш имконияти йўқ. Бундай печлар металлларни суюлтиришда, кальций карбид ва фосфор олишда ишлатилади.

10.7-§. ОДДИЙ ТЕМПЕРАТУРАЛАРГАЧА СОВИТИШ

Тахминан 10—30°C ларгача совитиш учун энг арзон ва қулай совитувчи агентлар — сув ва ҳаво кенг ишлатилади. Ҳавога нисбатан сувнинг иссиқлик сизими ва иссиқлик бериш коэффициенти катта. Совитиш учун дарё, кўл ва қудукдан олинган сувлар ишлатилади. Агар сув танқис бўлса, иссиқлик қурилмаларидан қайта чиққан сув очик ҳаваларда қисман буглатиш ҳисобига ёки градирняларда ҳаво оқими ёрдамида совитилгандан сўнгра қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Совитиш даражаси сувнинг бошланғич температурасига боғлиқ. Дарё ва кўл сувининг температураси йил фаслларида кўра 12—25°C, қудук сувлари 4—15°C, ишлаб чиқаришда ишлатилиб бўлинган сув эса тахминан 30°C (ёз шароитларида) температурага эга бўлади. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини лойиҳалашда сувнинг ёз пайтига тўғри келадиган температураси олинади. 50°C дан юқори температурада сувнинг таркибида эриган тузлар чўкмага тушиб, иссиқлик алмашилиш қурилмасининг юзасига ўтириб қолади, бу ҳол иссиқлик жараёнларининг самарадорлигини камайтиради. Шу сабабли иссиқлик қурилмаларидан чиқаётган сувнинг температураси 40—50°C дан ошмаслиги зарур.

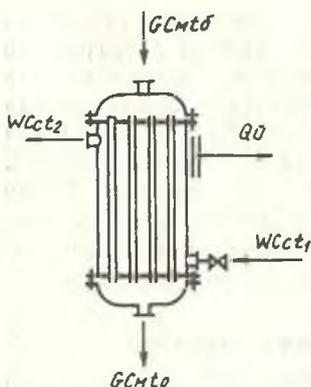
Совитиш жараёни учун керак бўлган сувнинг сарфи (W , кг/с) иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$Gc_m(t_0 - t_0) = Wc_c(t_2 - t_1). \quad (10.7)$$

Бундан

$$W = \frac{Gc_m(t_0 - t_0)}{c_c(t_2 - t_1)}. \quad (10.8)$$

бу ерда G — совитилаётган муҳитнинг сарфи, кг/с; C_m — совитилаётган муҳитнинг ўртача солиштирма иссиқлик сизими Ж/(кг.К); C_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); t_0, t_0 — совитилаётган муҳитнинг бошланғич ва охири температураси, К; t_1, t_2 — совитувчи сувнинг дастлабки ва охири температураси, К. (10.7) тенгламани тузишда иссиқликнинг атроф муҳитга йўқолиши (Q_n) ҳисобга олинмаган.



10.8- расм. Иссиқлик алмаши-
ниш аппаратида муҳитни сув
билан совитиш.

Сув одатда юзали иссиқлик алма-
шиниш қурилмаларида (совиткичлар-
да) совитувчи агент сифатида ишлати-
лади. Бундай совиткичларда сув паст-
дан юқорига қараб ҳаракат қилади
(10.8- расм). Бундан ташқари, ара-
лаштириш йўли билан ишлайдиган
иссиқлик алмашиниш қурилмаларида
ҳам сув ишлатилади, масалан, совитиш
ва намлаш учун газ оқимиға сув сочиб
берилади.

Агар совитилаётган муҳитнинг тем-
ператураси атмосфера босимида сув-
нинг қайнаш температурасидан юқори
бўлса, бунда совитиш жараёни сувнинг
қисман бугланиши билан боради. Бу
ҳол совитиш учун сувнинг сарфини
камайтиради. Бугланиш билан боради-

ган совитиш жараёни намлаб турилувчи совиткичда, градирняда
ва бошқа иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ишлатилади.

Сувни тежаш ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш учун сувдан
қайтадан фойдаланиш системасини жорий этиш мақсадга муво-
фиқ бўлади. Бунда сув истеъмоли тежамли бўлади ва оқинди
сувлар миқдори камаяди. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида
ишлатилиб бўлинган сувдан, градирняларда совитилгандан сўнг,
қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Ҳозирги вақтда совитувчи агент сифатида оддий ҳаво ҳам кенг
ишлатилмоқда. Иссиқлик алмашинишини яхшилиш учун ҳаво
оқими вентиляторлар ёрдамида мажбурий циркуляция қилинади
ва ҳаво оқими томонидан иссиқлик алмашиниш юзаси кўпайтири-
лади (масалан, қурилманинг юзаси қобирғали қилиб тайёрлана-
ди). Тажриба шуни кўрсатдики, саноатда бугни конденсациялаш
қурилмаларида мажбурий циркуляцияли ҳаво оқими ёрдамида
совитиш сув билан совитишга нисбатан тежамлироқдир. Бундан
ташқари, ҳаво билан совитишдан фойдаланиш сувнинг умумий
сарфини камайтиради, бу ҳол эса сув ресурслари кам жойлар учун
катта аҳамиятга эга.

Ҳаво билан совитишнинг асосий афзалликлари: 1) ҳамма
жойда мавжуд бўлган совитувчи агент; 2) совитиш юзасининг
ташки томонини амалий жиҳатдан ифлос қилмайди. Ҳавонинг
совитувчи агент сифатида сувга нисбатан камчиликлари ҳам бор:
ҳавонинг иссиқлик бериш коэффициенти кичик ($58 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
гача.); ҳавонинг солиштирма иссиқлик сигими нисбатан кам
($1 \text{ кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{К})$). Шу сабабдан ҳавонинг массив сарфи сувнинг
сарфига нисбатан 4 маротаба катта бўлади.

Ҳаво совитувчи агент сифатида аралаштириш усули билан
ишлайдиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида (градирня-
ларда) кенг ишлатилмоқда. Градирнялар ичи буш вертикал
қурилма бўлиб, унинг юқориги қисмидан сув сочиб турилади,

пастдан юкорига вентилятор ёрдамида ҳаво ҳайдалади. Сув ва ҳаво ўртасидаги контакт юзасини кўпайтириш учун қурилманинг ичига насадкалар жойлаштирилган.

Пастрок температурагача (масалан, 0°C гача) совитиш учун совитилиши лозим бўлган суюқликка муз ёки совитилган сув қўшилади. Бунда совитилиши лозим бўлган суюқлик суюқлашади. Совитиш учун керак бўлган музнинг миқдори (G_m , кг/с) иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$G_m(335,2 + c_c t_0) = Gc(t_0 - t_6); \quad (10.9)$$

бундан

$$G_m = \frac{Gc(t_0 - t_6)}{335,2 + c_c t_0} \quad (10.10)$$

бу ерда G — совитилаётган суюқликнинг массаси, кг/с; c — совитилаётган суюқликнинг солиштирма иссиқлик сизими, кЖ/(кг·К); c_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, кЖ/(кг·К); t_0, t_6 — совитилаётган суюқликнинг охириги ва бошланғич температуралари, К; $335,2$ кЖ/(кг·К) — музнинг эриш иссиқлиги.

Муз ёки қора кристалл шаклидаги ош тузи (NaCl) дан қўшилса, бундай аралашманинг эриш температураси 0°C дан пастда бўлади ва бу қиймат аралашмадаги тузнинг миқдорига боглик бўлади. Таркибида 29 % ош тузи бор муз аралашмаси энг паст температура ($-21,2^{\circ}\text{C}$) га эга бўлади.

Совитиш техникасида оралик совуқ ташувчи агент сифатида туз эритмалари (NaCl ва CaCl_2) ишлатилади.

Анча паст температурагача ($<0^{\circ}\text{C}$) совитиш учун махсус совитувчи агентлар, масалан, паст температурада қайнайдиган аммиак ва хладонлар ишлатилади.

10.8-§. БУҒНИ КОНДЕНСАЦИЯЛАШ

Кимёвий технологияда бугларни сув ёки совуқ ҳаво ёрдамида совитиш йўли билан конденсациялаш кенг ишлатилади. Бугни конденсациялашдан буглатиш, вакуум қуритиш ва бошқа жараёнларда сийракланиш (ёки вакуум) ҳосил қилиш учун фойдаланилади. Конденсацияланиши лозим бўлган буг тегишли қурилмадан чиқарилиб, конденсаторга берилади. Конденсаторда буг сув ёки ҳаво ёрдамида конденсацияланади. Бугнинг конденсацияланишидан ҳосил бўлган конденсатнинг ҳажми бугнинг ҳажмига нисбатан тахминан минг марта кичик, шу сабабли конденсаторда сийракланиш пайдо бўлади. Конденсацияланишнинг температураси пасайиши билан сийракланиш даражаси ортади.

Конденсаторнинг иш ҳажмида, бугнинг конденсацияланиши билан бирга ҳаво ва конденсацияланмайдиган газлар йигилиб қолади. Натижада конденсацияланмайдиган газнинг парциал

босими ортиб боради, бу ўз навбатида қурилмадаги вакуумни камайтиради. Шу сабабли вакуумнинг қийматини маълум даражада тутиб туриш учун конденсатордан конденсацияланмай қолган газларни узлуксиз равишда сўриб олиб туриш керак. Бу вазифа вакуум-насос ёрдамида амалга оширилади.

Совитиш усулига кўра аралаштирувчи ва юзали конденсаторлар бўлади. Аралаштирувчи конденсаторда буг ва совитувчи сув ўзаро тўғридан-тўғри аралашади, ҳосил бўлган конденсат эса сув билан қўшилиб кетади. Агар конденсланиши лозим бўлган буг қимматбаҳо бўлмаса, бунда жараён аралаштирувчи конденсаторларда олиб борилади. Иссиқлик алмашинишини яхшилаш учун совитувчи сув сочиб (пуркаб) берилади, натижада сув ва буг ўртасидаги контакт юза ортади.

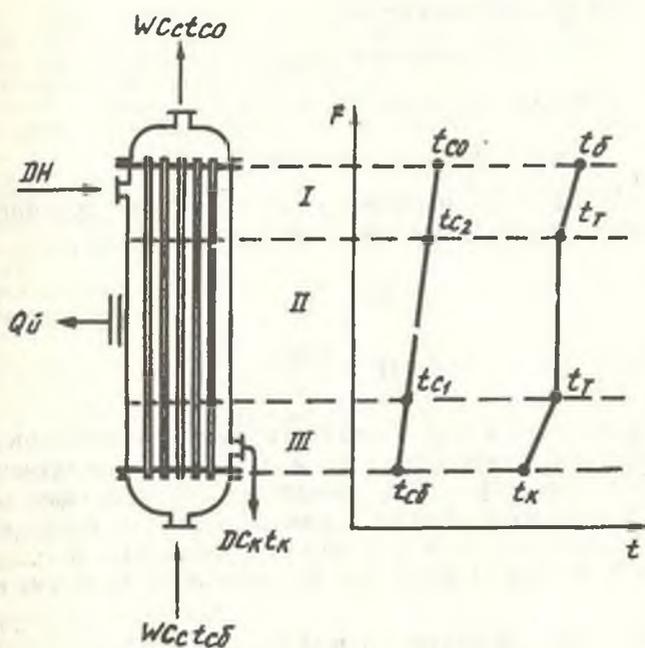
Қурилмадан сув, конденсат ва конденсацияланмай қолган газларни чиқариш усулига кўра ҳўл ва қурук аралаштирувчи конденсаторлар бўлади. Ҳўл конденсаторлардан сув, конденсат ва газлар битта махсус вакуум-насос ёрдамида чиқариб ташланади. Қурук (ёки барометрик) конденсаторлардан сув ва конденсат биргаликда ўз оқими билан чиқиб кетади, газлар эса қурук вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Юзали конденсаторларда буг ва совитувчи агент (сув ёки ҳаво) ўртасидаги иссиқлик алмашиниш жараёни девор орқали амалга оширилади. Бундай қурилмаларда бугларнинг конденсланиши совитилиб туриладиган трубаларнинг ташқи ёки ички юзаларида юз беради. Ҳосил бўлган конденсат ва совитувчи агент қурилмадан алоҳида-алоҳида чиқарилади. Агар конденсат ишлаб чиқариш аҳамиятига эга бўлса, у қайтадан ишлатилиши мумкин.

Юзали иссиқлик алмашиниш қурилмасида борадиган қиздирилган бугнинг конденсацияланиш жараёнини кўриб чиқамиз (10.9- расм). Ушбу схемада: D — конденсаторга кираётган қиздирилган бугнинг миқдори, кг/с; H — бугнинг энтальпияси, Ж/кг; t_0 — кираётган бугнинг температураси, К; $t_{тўй}$ — бугнинг тўйиниш (конденсацияланиш) температураси, К; t_k — қурилмадан чиқаётган конденсатнинг температураси, К; c_0 — қиздирилган бугнинг иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); c_k — конденсациянинг иссиқлик сизими, Ж/(кг.К) r — бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги (суюқликнинг бугланиш иссиқлиги), Ж/кг; W — совитиш учун берилаётган сув миқдори, кг/с; t_{c0} — сувнинг бошланғич температураси, К; t_{c0} — сувнинг охириги температураси, К; c_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); Q_a — атроф муҳитга йўқолган иссиқлик, Вт.

Конденсацияланиш жараёни учун (10.9- расм) иссиқлик баланси қўйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$DH + Wc_c t_{c0} = Dc_k t_k + Wc_c t_{c0} + Q_a \quad (10.11)$$



10.9- расм. Конденсацияланишнинг иссиқлик балансига доир:

I — қиздирилган бугни совитиш соҳаси; II — конденсацияланиш соҳаси; III — конденсатни совитиш соҳаси.

Охири тенгликдан совитувчи сувнинг сарфини аниқлаш мумкин:

$$W = \frac{D(H - c_k t_k) - Q_d}{c_c(t_{co} - t_{cb})} \quad (10.12)$$

Иссиқлик алмашиниш шартига кўра конденсаторнинг совитувчи юзаси учта соҳага бўлинади: қиздирилган бугнинг совитиш соҳаси, конденсацияланиш соҳаси ва конденсатни совитиш соҳаси. Биринчи соҳада иссиқлик алмашинишнинг тезлиги паст бўлиб, иккинчи соҳада эса бугнинг конденсацияланиши учун шартшароит яхши бўлади. Шу сабабдан ҳар бир соҳа учун совитиш юзасини алоҳида аниқлашга тўғри келади. Бунинг учун ҳар бир соҳада сарфланган иссиқликнинг миқдорини ва совитувчи сувнинг оралиқ температуралари (t_{c1} ва t_{c2}) ни аниқлаш зарур бўлади.

Ҳар бир соҳада совитиш юзаси орқали берилган иссиқликнинг миқдори қуйидаги тенгликлар ёрдамида аниқланади: қиздирилган бугнинг совитиш соҳаси учун

$$Q_1 = Dc_0(t_0 - t_{туя}) = Wc_c(t_{co} - t_{c2}), \quad (10.13)$$

конденсацияланиш соҳаси учун

$$Q_{II} = Dr = Wc_c(t_{c2} - t_{c1}), \quad (10.14)$$

конденсатни совитиш соҳаси учун

$$Q_{III} = Dc_k(t_{тўй.} - t_k) = Wc_c(t_{c1} - t_{c2}). \quad (10.15)$$

(10.13) — (10.15) тенгликлардан совитувчи сувнинг оралик температураларини аниқлаш мумкин:

$$t_{c1} = t_{c2} - \frac{Q_{III}}{W}. \quad (10.16)$$

$$t_{c2} = t_{c1} - \frac{Q_I}{W}. \quad (10.17)$$

Конденсатордан сўриб олинadиган ҳавонинг миқдори эмпирик тенгламалар асосида аниқланади. Бунда 1 кг совитувчи сувда 0,000025 кг ҳаво бўлади ва конденсаторнинг зичмас қисмлари орқали конденсацияланиши лозим бўлган 1 кг бугга нисбатан ўртача 0,01 кг ҳаво қўшилиб киради, деб олинади.

Юзали конденсатордан сўриб олинadиган ҳавонинг миқдори (кг/с):

$$G_x = 0,000025D + 0,01D \approx 0,01D. \quad (10.18)$$

Аралаштирувчи конденсатордан сўриб олинadиган ҳавонинг миқдори эса (кг/с):

$$G_x = 0,000025(D + W) + 0,01D. \quad (10.19)$$

Конденсатордан сўриб олинadиган ҳавонинг тахминий ҳажми конденсацияланидиган бугнинг сарфига кўра қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$V_x = \frac{\beta D(273 + t)}{P}, \quad (10.20)$$

бу ерда t — вакуум-насосга кираётган ҳавонинг температураси (одатда $t = 25^\circ\text{C}$); P — сўриб олинаётган ҳаво босими, Па; β — тажриба коэффициенти, бу коэффициентнинг қиймати газнинг бугдаги миқдорига боглиқ бўлиб, справочникларда берилади.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАКИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 10.1. Иссиқлик алмашилиш жараёнларининг турлари. Уларнинг умумий томонлари нимадан иборат?
- 10.2. Сув буги билан иситишнинг қандай афзалликлари мавжуд? Ўткир ва кучсиз буглар ўртасида қандай фарқ бор?
- 10.3. Конденсат узатувчилар қандай вазифа бажаради? Унинг турлари. Ёппик қалқовичли конденсат узатувчининг чизмаси.
- 10.4. Иссиқ сув билан иситишнинг афзаллиги ва камчиликлари. Табиий ва мажбурий циркуляцияли қурилмаларнинг ўзаро фарқи нимадан иборат?

- 10.5. Тутун газлари ёрдамида қандай температураларгача иситиш мумкин? Тутун газлари билан иситишда ёқилгининг сарфи қандай аниқланади?
- 10.6. Юқори температурали моддалар билан иситиш неча турга бўлинади? Қимё саноатида қандай таркибли дифенилнинг аралашмаси кенг қўлланилади? Электр токи билан иситишнинг афзаллиги нимадан иборат? Электр қаршилиги, индукцион ва юқори частотали иситиш ўртасида қандай фарқ бор?
- 10.8. Оддий температурагача совитиш мақсадидида қандай иссиқлик ташувчи агентлар ишлатилади? Совитиш жараёни учун зарур бўлган сувнинг миқдори қайси тенглама орқали аниқланиши мумкин?
- 10.9. Ҳаво билан совитиш. Бу усулнинг аҳамияти ва афзаллиги нималардан иборат?
- 10.10. Бугни конденсациялаш жараёнининг мазмуни ва унинг аҳамияти. Конденсаторларнинг иссиқлик баланси қандай тузилади?

11-БОБ. ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ҚУРИЛМАЛАРИ

11.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Қимё саноатида маҳсулотларни иссиқлик таъсирида қайта ишлаш жараёнидан кенг фойдаланилади. Бу нарса қуйидаги мақсадларда олиб борилади: 1) жараён температурасини берилган даражада ушлаб туриш; 2) совуқ маҳсулотни иситиш ёки иссиқ маҳсулотни совитиш; 3) бугни конденсациялаш; 4) эритмаларни қуйилтириш ва бошқалар.

Бу жараёнлар алоҳида олинган иссиқлик алмашилиш қурилмаларида ёки технология қурилмасининг ўзида амалга оширилади.

Иссиқлик алмашилиш қурилмалари умуман олганда иккига бўлинади: иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг ўзи ва реакторлар. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларида иссиқлик алмашилиш жараёни асосий жараён ҳисобланади. Реакторларда эса физик-кимёвий жараёнлар асосий ҳисобланиб, иссиқлик алмашилиш эса ёрдамчи жараёндир.

Қимё, нефть кимёси, нефтни қайта ишлаш, озиқ-овқат саноатлари корхоналарида ишлатиладиган технологик ускуналарнинг катта бир улушини иссиқлик алмашилиш қурилмалари ташкил қилади. Қимё саноатида ишлатиладиган иссиқлик қурилмалари умумий қурилмаларнинг ўрта ҳисобда 15—18% ини ташкил этса, нефть кимёси ва нефтни қайта ишлаш саноатларида эса бу рақам 50% га тенг, чунки кимёвий технологиянинг асосий жараёнлари (буғлатиш, ректификлаш, қуритиш ва бошқалар) иссиқликнинг берилиши ёки узатилиши билан боғлиқдир.

Саноатда турли-туман иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилади. Иш принципига қўра иссиқлик алмашигичлар учга бўлинади: 1) рекуператив; 2) регенератив; 3) аралаштирувчи.

Рекуператив (ёки юзали) иссиқлик алмашигичда иссиқлик ташувчи агент бир-бири билан девор орқали ажратилган ва иссиқлик биринчи иссиқлик ташувчи муҳитдан иккинчисига уларни ажратувчи девор орқали ўтади.

Регенератив иссиқлик алмашигичда қаттиқ жисмдан таркиб топган бир хил юза навбат билан турли иссиқлик ташувчи агентлар билан контактда бўлади. Қаттиқ жисм унга тегиб ўтган иссиқлик

ташувчидан иссиқлик олиб исийди; бошқа иссиқлик ташувчи ўтганда эса қаттиқ жисм ўз иссиқлигини унга бериб совийди. Шундай қилиб бундай қурилмалар (регенераторлар) да иссиқлик ташувчи агентларнинг ҳаракатидан ташқари қаттиқ жисмнинг мавжуд бўлиши зарур.

Аралаштирувчи қурилмаларда иссиқлик ташувчи агентларнинг ўзаро учрашуви ва аралашуви натижасида иссиқликнинг алмашилиши юз беради. Иссиқлик алмашилиш қурилмалари қуйидаги белгиларга кўра турларга бўлинади:

Конструктив тузилиш бўйича — трубадан қилинган қурилмалар (қобик-трубали, «труба ичида труба», змеевикли ва бошқалар); иссиқлик алмашилиш юзаси листли материалдан тайёрланган қурилмалар (пластинали, спиралсимон ва бошқалар); иссиқлик алмашилиш юзани тайёрлашда нометалл материаллар (графит, пластмасса, шиша ва ҳоказо)дан фойдаланилган қурилмалар;

Ишлатилиш мақсадига кўра — совиткичлар, иситкичлар, буглатгичлар, конденсаторлар;

Иссиқлик ташувчи агентлар ҳаракатининг йўналишига кўра — тўғри, карама-қарши, кесишган ва ҳоказо йўналишли қурилмалар.

Иссиқлик бериш усулига кўра иссиқлик алмашилиш қурилмалари қуйидагиларга бўлинади: 1) юзали иссиқлик алмашилиш қурилмалари, буларда иссиқлик бир муҳитдан иккинчи муҳитга ажратиб турувчи сирт (юза) орқали ўтади; 2) аралаштирувчи иссиқлик алмашилиш қурилмалари, буларда иш муҳитлар бевосита ўзаро аралашади.

МДХда кимё ва унга туташ бўлган саноат тармоқлари учун ишлаб чиқарилган иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг тахминан 80 % ни қобик-трубали қурилмалар ташкил этади. Бундай иссиқлик алмашилиш қурилмаларини тайёрлаш осон, ишлатиш эса қулайдир. Қобик-трубали қурилмалар универсал бўлиб, ундан газ, буг ва суюқликлар ўртасида иссиқлик алмашилишни ташкил этишда, босим ҳамда температуралар кенг интервалда ўзгарган пайтда ҳам фойдаланилади. Бундан ташқари, қобикли-трубали қурилмаларда иссиқлик ташувчи агентлар ҳаракатининг йўналиши турлича бўлиши мумкин.

«Труба ичида труба» типидagi ва пўлатдан қилинган змеевикли иссиқлик алмашилиш қурилмалари иссиқлик қурилмаларининг умумий ҳажми ичида тахминан 8 % ни, чўяндан тайёрланган намланадиган қурилмалар эса 2 % ни ташкил этади.

Спиралсимон ва пластикали ҳамда ҳаво билан совитиладиган иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг улуши ҳозирча кам, бироқ янги қурилаётган технология линияларида бундай қурилмалар кенг ўрин олмақда. Саноат қурилмаларида иссиқлик алмашилишнинг шарт-шароитлари ҳар хил бўлади. Иссиқлик алмашилиш қурилмалари турлича агрегат ҳолатга (газ, буг, томчили суюқлик, эмульсия ва бошқалар) ва ҳар хил температура, босим ва физик-кимёвий хоссаларга эга бўлган иш муҳити учун ишлатилади.

Саноатда чиқариладиган иссиқлик алмашилиш қурилмалари

типи, ўлчамлари, параметрлари ва материаллари бўйича жуда кенг номенклатурага эга. Шу сабабдан ҳар бир конкрет шароит учун ҳамма кўрсаткичлари бўйича оптимал бўлган қурилма танлаб олиш имконияти мавжуд. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини танлашда қуйидаги умумий қонуниятларга амал қилинса мақсадга мувофиқ бўлади.

1. Иссиқлик ташувчи агентларнинг босими юқори бўлса, трубали иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилиши керак; бундай шароитда трубаларнинг ичига босими каттароқ бўлган иссиқлик ташувчи агент юборилади, чунки трубаларнинг диаметри қурилма қобигининг диаметрига нисбатан кичик бўлганлиги сабабли бирмунча юқори босимга бардош бера олади;

2. Коррозияга учрайдиган иссиқлик ташувчи агентни трубали иссиқлик алмашилиш қурилмасининг трубалари орқали берилади, чунки трубалар коррозия таъсирида емирилганда ҳам қурилманинг қобиги ўзгартирилмайди.

3. Коррозияга учратадиган иссиқлик ташувчи агентлар ишлатилганда коррозияга бардош берувчи полимер материаллар (масалан, фторпласт ва унинг сополимерлари) дан тайёрланган иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилиши керак.

4. Агар иссиқлик ташувчи агентлардан биттаси ифлос бўлса ёки қурилма юзасига чўкма бериш хоссасига эга бўлса, бундай иссиқлик ташувчини иссиқлик алмашилиш юзасининг тозалашга қулай томонига юбориш зарур (масалан, қобиқ-трубали қурилмаларда трубаларнинг ички юзаси, эмсевичли қурилмаларда эса трубаларнинг ташқи юзаси).

5. Иссиқлик алмашилиш шароитини яхшилаш ҳар доим иссиқлик ташувчининг тезлигига боғлиқ бўлмайди (масалан, бугни конденсацияланиш тезлиги конденсатни иссиқлик алмашилиш юзасидан узатишни тўғри ташкил этишига боғлиқ бўлади), шу сабабдан ҳар бир конкрет шароит учун тегишли конструкцияга эга бўлган қурилма танлаш керак.

11.2-§. ҚОБИҚ-ТРУБАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Олдинги параграфда айтиб ўтилганидек, қобиқ-трубали қурилмалар энг кўп тарқалган иссиқлик алмашилиш қурилмалари ҳисобланади. ГОСТ 9929—82 га асосан қобиқ-трубали иссиқлик алмашилиш қурилмалари пўлатдан қуйидаги типлар бўйича тайёрланади: Н — қўзғолмас труба турлари билан; К — температура юқори бўлганда қобиқ ва трубаларнинг турлича узайишини ҳисобга олувчи ва қобиқда жойлашган компенсатор билан; П — ҳаракатчан қалпоқчали; У — U-симон трубали; ПК — ҳаракатчан қалпоқчали ва ундаги компенсатор билан.

Мисли қобиқ-трубали қурилмалар ГОСТ 11971—77 га асосан икки типда (Н ва К) тайёрланади. Мақсадга кўра қобиқ-трубали қурилмалар иссиқлик алмашигич, совиткич, конденсатор ва

буғлаткич сифатида ишлатилиши мумкин, улар бир ва кўп йўлли қилиб тайёрланади.

Кимё саноатида суюқ ва газ муҳитининг температураси — 60 дан +600°C гача ўзгарган шароитда ишлатиладиган пўлатли қобик — трубади қурилмаларнинг айрим параметрлари 11.1-жадвалда берилган.

11.1-жадвал. Пўлатли, қобик-трубади иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг айрим параметрлари

Параметрлар	Қурилма типиди ва параметрининг қиймати				
	П	Қ	П	У	ПК
Иссиқлик алмашиниш юзаси, м ²	1 ÷ 5000	1 ÷ 5000	10 ÷ 1250	10 ÷ 1400	178 ÷ 1866
Трубади ёки трубади оралигидаги бўшлиқдаги шартли босим, МПа	0,6; 1,0	0,6; 1,0	1,0; 1,6	1,0; 1,6	5,0; 6,3
Трубади шартли босим, МПа	1,6; 2,5 4,0; 6,3 8,0	1,6; 2,5	2,5; 4,0 6,3; 8,0 10,0; 12 16,0	2,5; 4,0 6,3; 8,0 5; 10,0; 12,5 16,0	8,0; 10,0
Трубади диаметри х деворнинг қалинлиги, мм	16x1,5; 16x2; 20x2 25x1,5; 25x2; 25x2,5; 38x2; 57x3	16x1,5; 16x2; 20x2; 25x1,5 25x2 25x2,5 38x2; 57x3	20x2; 25x2; 25x2,5; 38x2;	20x2; 25x2; 25x2,5	20x2; 25x2; 25x2,5

Бундай иссиқлик алмашиниш қобик ичига жойлашган трубади тўпланидан иборат бўлиб, трубади учиди турларга маҳкамланган бўлади (11.1-расм). Қурилманинг юқориги ва пастки қисмларидаги қопқоқ фланец ёрдамида трубади тўрига бириктирилади. Юқориги ва пастки қопқоқларга иситилаётган ёки совитилаётган агентларни бериш учун штуцер мўлжалланган. Трубади тўрига развальцовка, пайвандлаш, қавшарлаш ва бошқа усуллар ёрдамида бириктирилиши мумкин (11.2-расм). Иссиқлик ташувчи агентнинг биринчиси трубади ичидан, иккинчиси эса трубади ва қурилманинг ички девори оралигидаги бўшлиқдан ўтади.

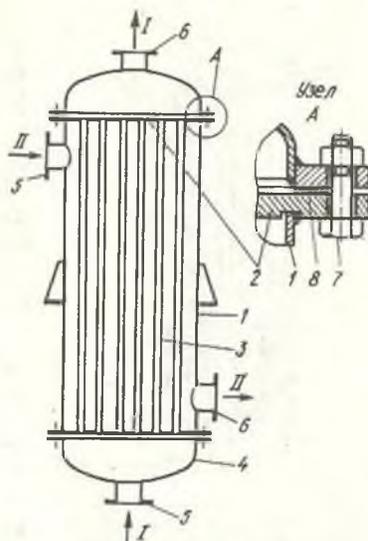
11.1-расмда бир йўналишли қобик-трубади иссиқлик алмашиниш қурилмаси қўрсатилган. Бунда иситилувчи газ ёки суюқлик қопқоқдаги патрубкка орқали битта трубади кириб, ўша трубади чиқиб кетади. Кўпинча, бу типдаги иситкичларда иситилаётган ва иссиқлик бераётган муҳит бир-бирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Иситувчи агент доим иситкичнинг юқориги қисмидан ва иситилаётган муҳит эса қурилманинг пастки қисмидан трубади ичига берилади. Бу муҳитнинг йўналиши иситкичдаги йўналишга мос келади, чунки иситилаётган вақтда температура ортиши ва қамайиши билан уларнинг зичлиги

ўзгаради. Масалан, буғ ўз иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб, пастга қараб ҳаракатланади. Бундан ташқари муҳитнинг бу йўналишида уларнинг тезлиги бир хил тақсимланиб, қурилманинг кўндаланг кесимида иссиқлик алмашиниш ўзгармас бўлади.

Агар муҳитнинг йўналиши аксинча бўлса, яъни иситувчи агент қурилманинг пастки қисмидан трубалар ва қобик оралигидаги бўшлиққа ва иситилаётган муҳит иситкичнинг юқориги қисмидаги трубаларга берилса, у ҳолда буғ иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб юқорига кўтарилмайди. Натижада пастки трубалар билан қобик орасидаги бўшлиқда конденсат тўпланиб, буғнинг бу бўшлиқ орасидан ўтиши қийинлашади ва иссиқлик алмашиниш жараёнининг тезлиги камаяди.

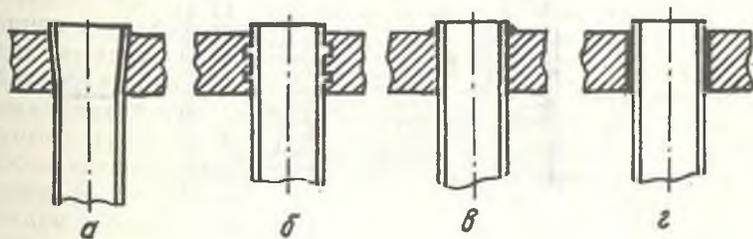
Бу иссиқлик алмашичларда суюқликнинг сарфи кам бўлганда уларнинг трубадаги тезлиги кичик бўлиб, иссиқлик алмашиниш коэффициенти ҳам кам бўлади. Иссиқлик ташувчи агентнинг тезлигини ошириш учун кўп йўлли иситкичлар ишлатилади.

Кўп йўлли иссиқлик алмашичларда трубаларни секцияларга бўлиш учун ёки муҳитнинг ҳаракат йўлининг сонига қараб қурилманинг қопқоғи билан труба тўрининг орасига тўсиқлар ўрнатилади (11.3—11.4- расмлар). Бунда ҳар бир секциядаги трубаларнинг сони бир хил бўлиши керак. Кўп йўлли иссиқлик



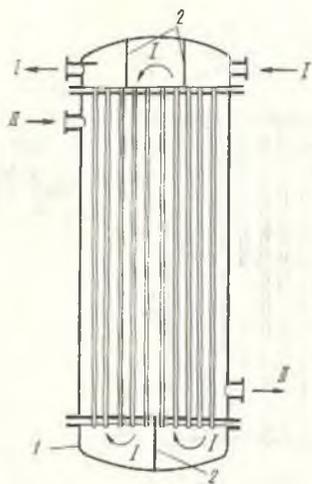
11.1- расм. Бир йўлли қобик — труба иссиқлик алмашиниш қурилмаси.

1 — қобик; 2 — труба тўрали; 3 — трубалар; 4 — қопқоқ; 5, 6 — иссиқлик ташувчи агентлар (I ва II) қирадиган ва чиқадиган штуцерлар; 7 — болт; 8 — қистирма.



11.2- расм. Трубаларни труба тўрига бириктириш усуллари:

а) развальцовка; б) ариқчалар орқали развальцовка қилиш; в) пайвандлаш; г) қавшарлаш.



11.3- расм. Кўп йўлли (трубалар ичидаги бўшлик бўйича) иссиқлик алмашгич:

1 — копкок; 2 — тўсиқлар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар.

қобиқнинг узайиши ҳар хил бўлади. Шунинг учун қобиқ-трубали қурилмалар конструкциясига кўра икки хил бўлади: 1) қўзғалмас тўрли иссиқлик алмашгичлар; 2) компенсацияловчи қурилмали иссиқлик алмашгичлар (бундай қурилмаларда трубаларнинг турли даражада узайишига имкон бор).

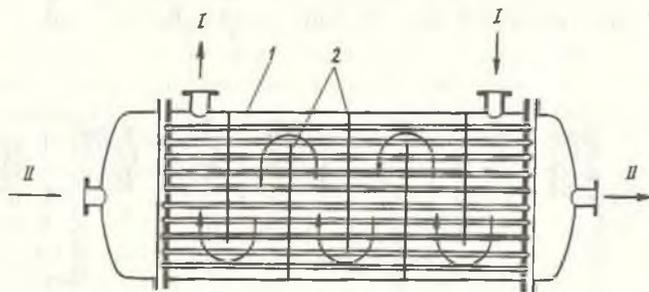
Қўзғалмас тўрли иссиқлик алмашгичда иссиқлик таъсирида труба ва қобиқ ҳар хил узаяди, шу сабабли бундай қурилмалар трубалар ва қобиқ ўртасидаги температуралар фарқи катта бўлмаганда (50°C гача) ишлатилади.

алмашгичларда бир йўналишли қурилмаларга нисбатан муҳитнинг тезлиги йўлларнинг сонига қараб пропорционал ўзгаради.

Кимё ва озиқ-овқат саноатининг барча тармоқларида 2,4,6 йўлли иссиқлик алмашгич ишлатилади. Чунки йўлларнинг сони ортиши билан гидравлик қаршилик ортиб, иссиқлик алмашиниш қурилмасининг конструкцияси мураккаблашади.

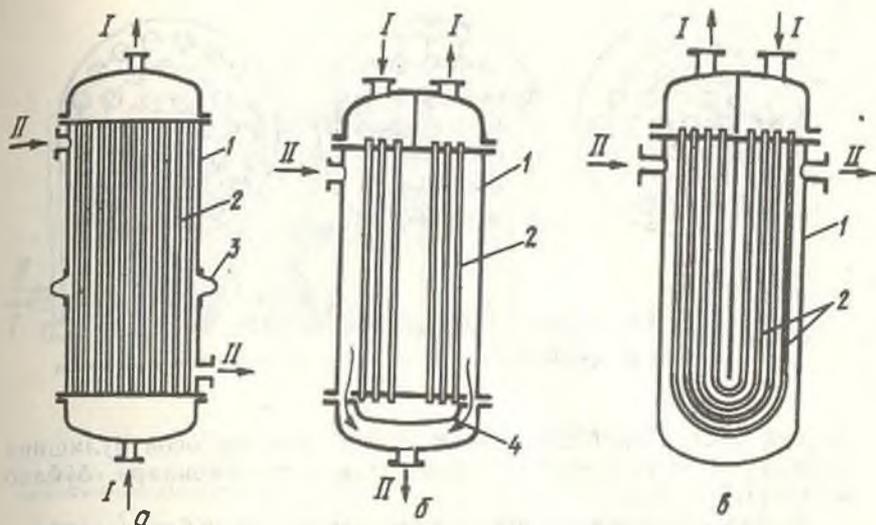
Бир йўлли ва кўп йўлли қобиқ-трубали иссиқлик алмашгич вертикал ва горизонтал ҳолатда бўлади. Вертикал иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ишлатиш қулай, уларнинг тузилиши содда ва кам жойни эгаллайди. Горизонтал иссиқлик алмашиниш қурилмалари кўпинча кўп йўлли қилиб тайёрланади.

Қобиқ-трубали қурилмаларда қобиқ билан трубалар орасидаги температуранинг фарқига қараб труба ва



11.4- расм. Кўп йўлли (трубалар ташқарисидаги бўшлик бўйича) иссиқлик алмашгич:

1 — қобиқ; 2 — йўналитувчи тўсиқлар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар.



11.5- расм. Кобик ва трубаларнинг турлича узайишини компенсация қиладиган кобик — трубаги иссиқлик алмашгичлар:

а) линза компенсаторли; б) ҳаракатчан қалпоқчали; в) U-симон трубаги; 1 — кобик; 2 — труба; 3 — линза; 4 — ҳаракатчан қалпоқча.

Температуралар фарқи 50°C дан катта бўлганда труба ва кобикнинг ҳар хил узайишини йўқотиш учун линза компенсаторли (11.5- расм, а), ҳаракатчан труба тўрли (11.5- расм, б), U-симон трубаги (11.5- расм, в) ва бошқа турдаги кобик-трубаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилади.

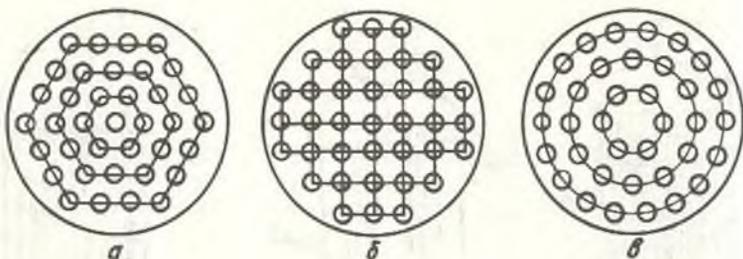
Линза компенсаторли қурилмалар труба ва қурилма девори ўртасидаги босим $6 \cdot 10^5$ Па гача бўлганда ишлатилади.

Трубаги тўрли ҳаракатланувчи иссиқлик алмашгичлар температура фарқи катта бўлганда ишлатилади. Бу қурилмада пастдаги труба тўри ҳаракатчан бўлиб, бунда трубалар тўплами қурилманинг кобигида температура таъсирида узайганда ҳам бемалол ҳаракат қилади. Трубаларнинг узайишини компенсациялайдиган қурилмаларнинг конструкцияси мураккабдир.

U-симон кобик-трубаги иссиқлик алмашгичда иссиқлик таъсирида трубаларнинг узайиши қурилманинг конструкциясига ҳалақит бермайди. Шунинг учун уларнинг конструкцияси содда бўлиб, трубалар тўплами битта кўзгалмас тўрга ўрнатилади. Бу қурилмаларда трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин ва трубаларни тўрга жойлаштириш жуда мураккабдир.

Кобик-трубаги иссиқлик алмашгичларда трубалар тўрга уч хил усул билан жойлаштирилади: а) тўгри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб; б) концентрик айланалар бўйича; в) квадратнинг томонлари бўйлаб (11—6- расм, а, б, в).

Кўпинча кобик-трубаги иссиқлик алмашгичларда трубалар тўгри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб жойлаштирилади, чунки бунда трубалар ихчам жойлашиб, уларнинг сони кўпроқ бўлади.



11.6- расм. Трубаларни труба тўрларига жойлаштириш усуллари:
 а) тўғри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб; б) квадратнинг томонлари бўйлаб; в) концентрик айланалар бўйлаб.

Айрим вақтда трубаларнинг юзасини тозалаш осон бўлишини назарда тутиб трубалар тўрға квадрат томонлари бўйлаб жойлаштирилади.

Кобик-трубали қурилмаларда юқори иссиқлик бериш коэффициентига эришиш учун иссиқлик ташувчи агентларнинг тезлиги анча катта бўлиши керак: газлар учун 8—30 м/с, суюқликлар учун энг ками билан 1,5 м/с.

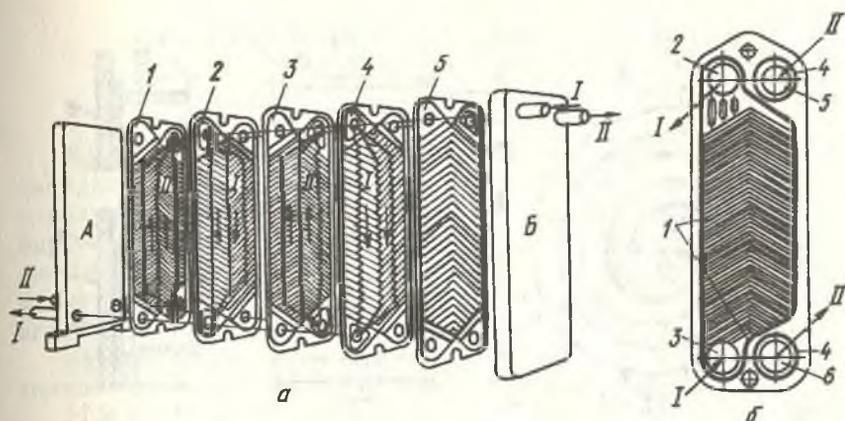
Кобик-трубали иссиқлик алмашилиш қурилмалари қуйидаги афзалликларга эга: ихчам, металл кам сарф қилинади, иссиқлик алмашилиш юзаси катта, трубаларнинг ичини тозалаш осон.

Бу қурилмалар камчиликлардан ҳам холи эмас; иссиқлик ташувчиларни катта тезлик билан ўтказиш қийин, трубаини ташқарисидаги бўшлиқни тозалаш ва тузатиш имкони кам.

11.3- §. ПЛАСТИНАЛИ ВА СПИРАЛСИМОН ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Ҳозирда листли материалдан тайёрланган алмашгичлар (айниқса пластинали ва спиралсимон аппаратлар) кенг қўлланилмоқда. Бундай қурилмалар кобик-трубали иссиқлик алмашгичларга нисбатан қатор афзалликларга эга. Ишлаб чиқариш шароитида кенг қатордаги типавий ўлчамли кобик-трубали қурилмаларни тайёрлаш технология жиҳатдан анча қийин, чунки бундай қурилмаларда унификация коэффициенти (бир хил ўлчам қаторига эга бўлган узел ва деталларнинг сонини қурилмадаги ҳамма узел ва деталлар сонига нисбати) 0,13 га тенг. Пластинали иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг унификация коэффициенти эса 0,9 ни ташкил этади.

Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашилиш қурилмаларини тайёрлаш учун кобик-трубали қурилмаларга нисбатан бирмунча кам металл талаб қилинади. Бундай қурилмаларни тозалаш ҳам осон. Ана шу муҳим сабабларга кўра листли материалдан қилинган ва умумий мақсадлар учун мўлжалланган иссиқлик алмашгичлар истиқболли ва самарали ҳисобланади.



11.7- расм. Пластинаги иссиқлик алмашгич:

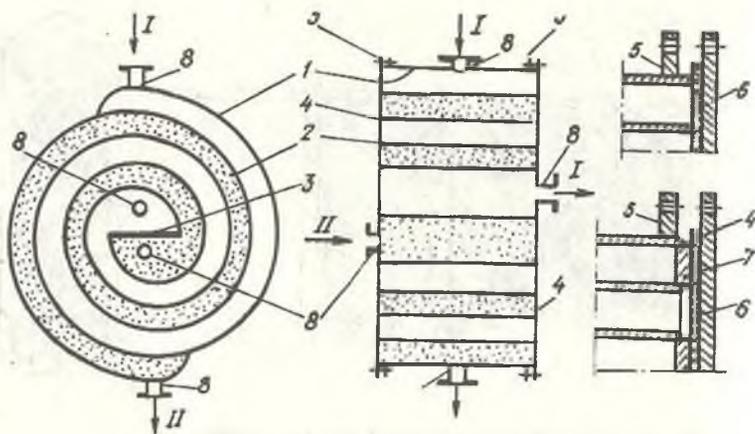
а) қурилма схемаси; А, Б — бош плиталар; 1—5 қат-қат бурма қилинган пластиналар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар; б) пластинанинг тузилиши; 1, 4 — резинали қистирмалар; 2, 3 — I суюқлик учун тешиклар; 5, 6 — II суюқлик учун тешиклар.

Пластинаги иссиқлик алмашгичлар. Бундай қурилмалар юққа металл листлардан тайёрланган бир неча қатор параллел қат-қат бурма қилинган пластиналардан тузилган (11.7- расм). Пластиналар ўртасидаги каналлар икки гуруҳга бўлинади: биринчи гуруҳ каналларидан иссиқлик ташувчи, иккинчидан эса иссиқлик қабул қилувчи агент ҳаракат қилади. Пластиналар А ва Б бош плиталари ва тортиш винти (схемада кўрсатилган) ёрдамида сиқилади, пластиналар оралиғида резинали қистирмалар жойлаштирилган. Б плитанинг юқориги чап штуцер орқали кирган иссиқ суюқлик (I) 4—5 ва 2—3 пластиналар оралиғидаги бўшлиқларни эгаллайди ва А плитадаги пастки ўнг штуцер орқали ташқарига чиқарилади. Совуқ суюқлик эса (II) А плитадаги пастки чап штуцер орқали қурилмага киради ва 1—2 ва 3—4 пластиналар оралиғидаги бўшлиқни эгаллайди, сўнгра Б плитадаги юқорига ўнг штуцер орқали ташқарига чиқади.

Саноат миқёсида ишлаб чиқарилаётган пластинаги қурилманинг иссиқлик алмашиниш юзаси пластиналарнинг типавий ўлчамига кўра 2 дан 600 м² гача етади; бундай қурилмаларни босимнинг қиймати 1,6 МПа гача ва иш муҳитининг температура-си — 30 дан +180°С гача ўзгарганда ишлатилади. Пластинаги қурилмалар суюқлик ва буг (газ) ўртасида иссиқлик алмашинишни ташкил этишда совиткичлар, иситкичлар ва конденсаторлар сифатида фойдаланилади.

Пластинаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари қалинлиги 1 мм бўлган металл листдан тайёрланади. Пластиналар қат-қат бурмаларининг кўндаланг кесими одатда баландлиги 4—7 мм ва асоси 14—30 мм бўлган тенг томонли учбурчак кўринишига эга. Бурамалар горизонтал «арчасимон», горизонтга бурчак билан ва бошқа кўринишларда тайёрланади.

Пластиналарнинг материали — руҳланган ёки коррозияга чидамли пўлат, титан, алюминий, мельхиор. Қурилманинг таянчла-



11.8- расм. Спиралсимон иссиқлик алмашгич:

1, 2 — спиралсимон листлар; 3 — тўсик; 4 — коптоқлар; 5 — фланец; 6 — қистирма; 7 — спираллар оралиғида маълум масофани ушлаб турувчи металл парчаси; 8 — суюқликларнинг кириш ва чиқиш штуцерлари.

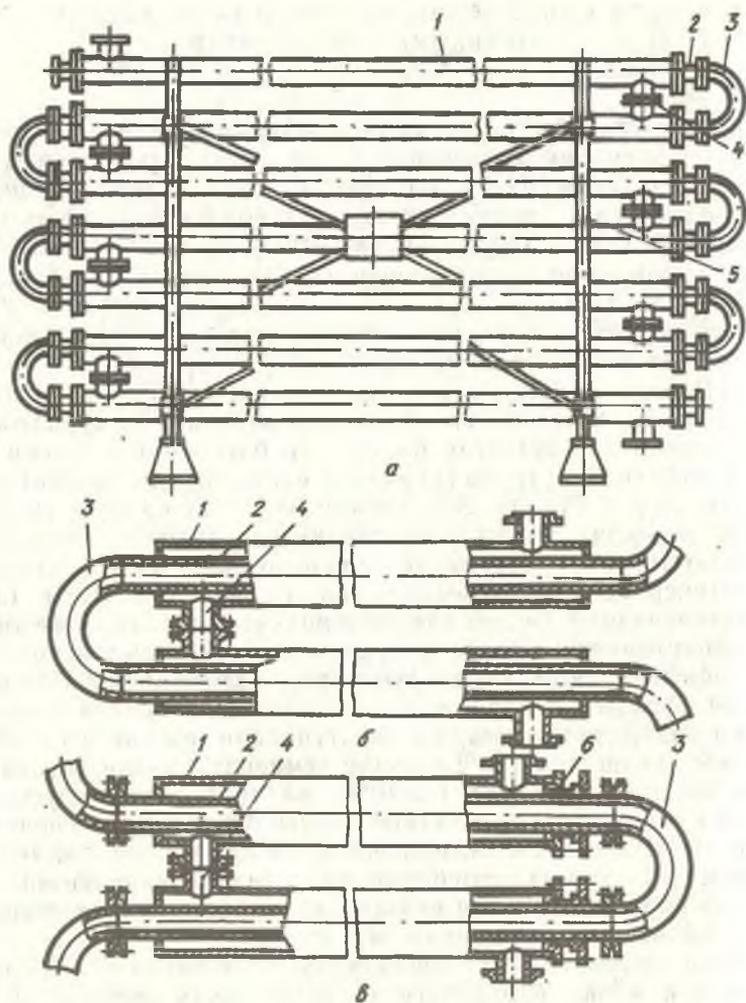
ри ва сиқувчи плиталари қалинлиги 8—12 мм ли углеродли пўлатдан тайёрланади. Бундай иссиқлик алмашиниш қурилмалари жуда ихчам бўлиб, иккала иссиқлик ташувчиларни катта тезлик билан ўтказиш имкониятига ва юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга. Гидравлик қаршилиги эса кам. Бирок бундай қурилмалар катта босимга бардош бера олмайди, иссиқлик алмашгич таъмирлангандан сўнг пластиналар орасидаги тегишли зичликни яна ҳосил қилиш қийин.

Спиралсимон иссиқлик алмашгичлар тўғри тўртбурчаклик кесимга эга бўлган иккита каналдан иборат (11.8- расм). Каналлар юққа металл пластиналардан тузилган бўлиб, улар иссиқлик алмашиниш юзаси вазифасини бажаради. Спиралларнинг ички томонидаги учлари ажратувчи тўсик орқали бириктирилган. Каналлар системаси қопқоқ ёрдамида беркитилган.

Саноатда иситиш юзаси 10—100 м² ли спиралсимон иссиқлик алмашгичлар ишлаб чиқарилади; булар иш муҳитининг температураси 20—200°С бўлганда вакуум билан ҳам, 1 МПа гача босим билан ҳам ишлаши мумкин. Спиралсимон иссиқлик алмашгичлардан суюқлик-суюқлик, газ-суюқлик ўртасида иссиқлик алмашиниш ташкил этишда ҳам буглар ва буг-газли аралашмаларни конденсациялаш мақсадида фойдаланиш мумкин.

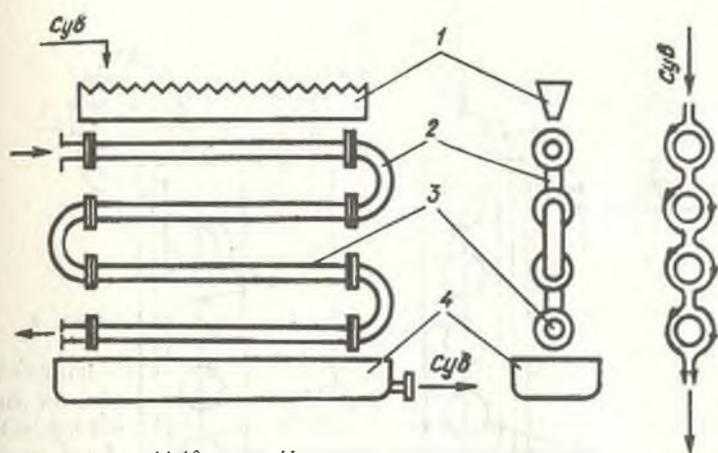
А ф з а л л и к л а р и: тузилиши ихчам, тайёрлаш оддий, иккала иссиқлик ташувчи агентни катта тезлик билан ўтказиш мумкинлиги учун катта иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга, гидравлик қаршилиги кўп йўлли қобик-трубали қурилмаларникига қараганда кам.

К а м ч и л и к л а р и: тайёрлаш ва созлаш мураккаб, 1 МПа дан ортиқ босим билан ишлаш мумкин эмас.



11.9- расм. «Труба ичида труба» типдаги иссиқлик алмашгич:

а) умумий кўрinishи; б) трубалар кўзгалмас қилиб бириктирилган вариант; в) трубалар компенсация мосламаси ёрдамида бириктирилган варианты; 1 — ташқи труба; 2 — ички труба; 3 — тирсак; 4 — штуцерлар; 5 — металдан тайёрланган қобиргалар; 6 — тирқишларни беркитадиган қоплама.



11.10- расм. Намловчи иссиқлик алмашгич:

1 — тарнов; 2 — тирсак; 3 — труба; 4 — йиғич.

қурилмага нисбатан ўлчами катта бўлади ва тайёрланиши учун кўп металл сарфланади.

Намловчи иссиқлик алмашгичлар ташки томонидан суюқ ҳолдаги иссиқлик ташувчи (одатда сув) билан намланиб турувчи змеевиклардан иборат (11.10- расм). Пуркаб берувчи тарнов орқали сув юқориги трубага берилиб, ундан кейин пастки трубага тушади. Кетма-кет ҳамма трубалардан ўтгач, сув трубаларнинг тагида жойлашган йиғичга тушади. Одатда бундай совиткичлар очик ҳавода жойлаштирилган бўлади.

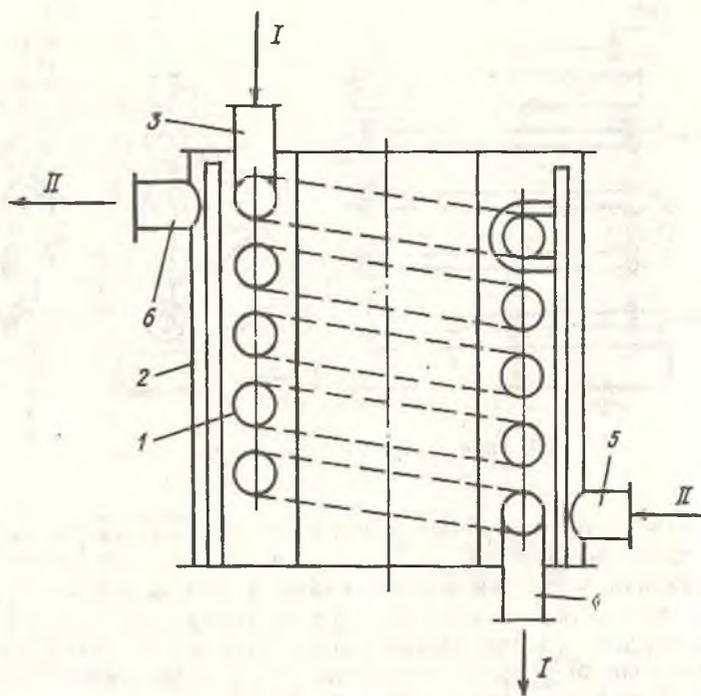
А ф з а л л и к л а р и : совитувчи сувнинг сарфи кам, тузилиши содда ва арзон, трубаларни тозалаш осон.

Бу қурилмалар асосан суюқлик ёки газларни совитиш ҳамда бугларни конденсациялаш мақсадида ишлатилади.

Змеевикли иссиқлик алмашгичлар 25 ÷ 75 мм ли трубалардан тайёрланган спиралсимон змеевиклар суюқлик билан тўлдирилган идишда ўрнатилади. Ботирилган змеевик трубаларидан газ ёки буг ҳаракатланади. Змеевикли иссиқлик алмашгичнинг диаметри идишнинг ўлчамига қўра 300 ÷ 2000 мм га тенг бўлиши мумкин.

Суюқлик билан тўлдирилган идишнинг ҳажми катта бўлгани ва идиш ичидаги суюқликнинг тезлиги жуда кичик бўлгани учун змеевикнинг ташки девори томондаги буг билан суюқлик орасидаги иссиқлик бериш коэффициентлари ҳам кичик қийматга эга бўлади. Қурилманинг ҳажмини камайтириш ва суюқликнинг тезлигини ошириш учун унинг ичига стаканга ўхшаш идиш туширилади (11.11- расм).

Змеевик трубаларида ҳаракатланаётган буг босими 0,2 ÷ 0,5 МПа гача бўлганда змеевик узунлигининг труба диаметрига нисбати 200 ÷ 245 бўлиши керак. Агар бу нисбатнинг миқдори катта бўлса, буг конденсати змеевик трубаларнинг пастки қисмида йиғилиб, иссиқлик алмашиниш тезлиги камаяди ва гидравлик қаршилиқ ортиб кетади.



11.11- расм. Змеевикли иссиқлик алмашғич:

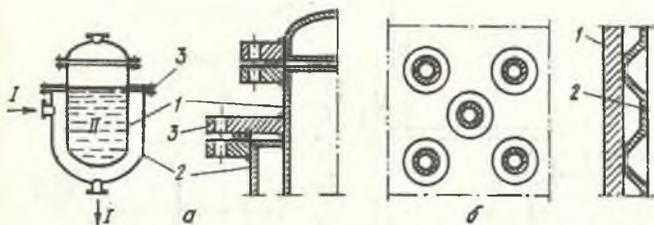
1 — змеевик; 2 — қобик; 3, 4 — патрубклар; 5, 6 — штуцерлар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар.

А ф з а л л и г и : тузилиши содда, тайёрлаш осон, иссиқлик алмашиниш юзасини алмаштириш қулай, идишдаги суюқликнинг хажми катта бўлганлиги сабабли режимнинг ўзгаришларига унча сезгир эмас.

К а м ч и л и к л а р и : ўлчами ва гидравлик қаршилиги катта, идишдаги суюқликнинг тезлиги кам бўлганлиги учун змеевикнинг ташқарисидаги иссиқлик бериш коэффиценти кичик, труба-ларнинг ички юзасини тозалаш кийин.

11.5- §. ФИЛОФЛИ ВА ГОРЕЛКАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Филофли иссиқлик алмашғичларда иситиш ёки совитиш бошқа жараёнлар билан (масалан, кимёвий) биргаликда олиб борилади. 11.12- расм, а да филофли қурилманинг схемаси кўрсатилган. Бунда иссиқлик алмашиниш юзаси вазифасини реакторнинг девори бажаради. Филоф (2) қобик (1) га фланецлар (3) ёрдами-да бириктирилган. Қурилма деворининг ташқи юзаси ва филоф оралигидаги бўшлиқда (I) иссиқлик ташувчи агент циркуляция килади. Қурилманинг ичида эса (II) иссиқлик ташувчи агент бор.



11.12- расм. Гифофни қурилма:

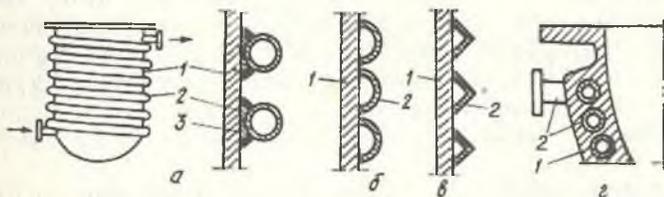
а — паст босимлар учун; б — юқори босимлар учун; 1 — қобик; 2 — гифоф; 3 — фланец.

Бу типдаги қурилмаларнинг юзаси чегараланган (10 м^2 гача) бўлиб, гифофдаги ортиқча босим 1 МПа дан ортмаслиги керак.

Юқори босимларда (7.5 МПа гача) ишлаш учун гифофни кўн сондаги тешиклари бўлган листлардан қилинади; бунда листларнинг чеккалари тешикларнинг периметрлари бўйлаб эгилади ва қурилма қобигига пайвандланади (11.12- расм, б).

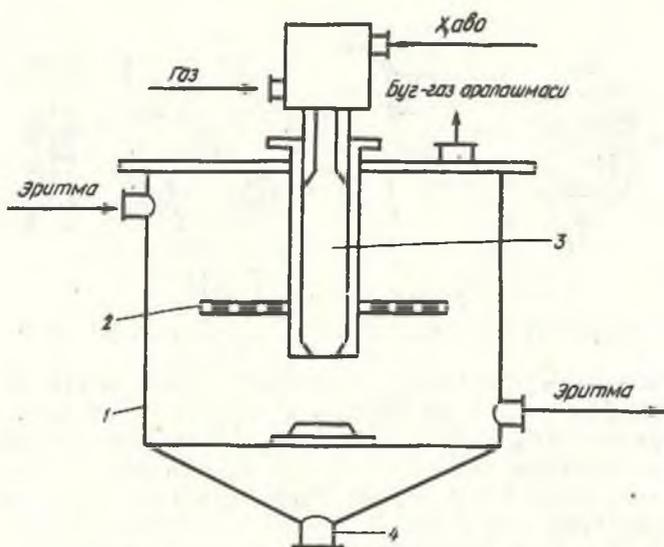
Айрим типдаги реакторларда змеевик қобикнинг ташқи юзасига пайванд қилинади (11.13- расм). Бунда иссиқлик реакторнинг девори орқали ўтади. Иссиқлик ташувчи агент қобик (1) нинг ташқарисига пайвандланган змеевик (2) га берилади. Иссиқлик алмашилини яхшилаш учун змеевик ва қобик ўртасига махсус тайёрланган кистирма (3) жойлаштирилади (10.13- расм, а). Трубали змеевикларни босимнинг қиймати 25 МПа гача ишлатилади. Змеевик сифатида узунлиги бўйича яримта қилиб кесилган труба (10.13- расм, б) ёки учбурчак шаклли пўлатдан қилинган тарнов (10.13- расм, в) қурилма қобигига пайванд қилиниши мумкин; бундай змеевиклар 6 МПа гача босим билан ишлайди. Змеевик деворнинг ичига қўйилган бўлиши ҳам мумкин (10.13- расм, г).

Горелкали иссиқлик алмашгичларда ёниш маҳсулотлари тўғридан-тўғри иситилаётган суюқлик билан контактда бўлади (11.14- расм). Суюқлик билан тўлдирилган идиш (1) га горелка (3) туширилган бўлади. Газ билан ҳаво аралашмаси горелкада ёнади. Ёниш маҳсулотлари тўр (2) орқали ўтганида барботаж жараёни юз бериб, газ оқими майда пуфакчаларга ажралади. Пуфакчалар суюқлик юзасига кўтарилиб, ўз иссиқлигини суюқ-



11.13- расм. Змеевикли қурилма:

а, б, в — ташқаридан пайванд қилинган змеевикли; г — деворнинг ичига жойлаштирилган змеевикли; 1 — қобик; 2 — змеевик; 3 — металл кистирма.



11.14- расм. Ботирилган горелкали иссиқлик алмашиш қурилмаси:

1 — кобик; 2 — тўр; 3 — горелка; 4 — штуцер.

ликка беради ҳамда шу пайтнинг ўзида сув буглари билан тўйинади. Оқибат иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати анча кўпаяди. Штуцер (4) қурилмани суюқликдан бўшатиш учун хизмат қилади.

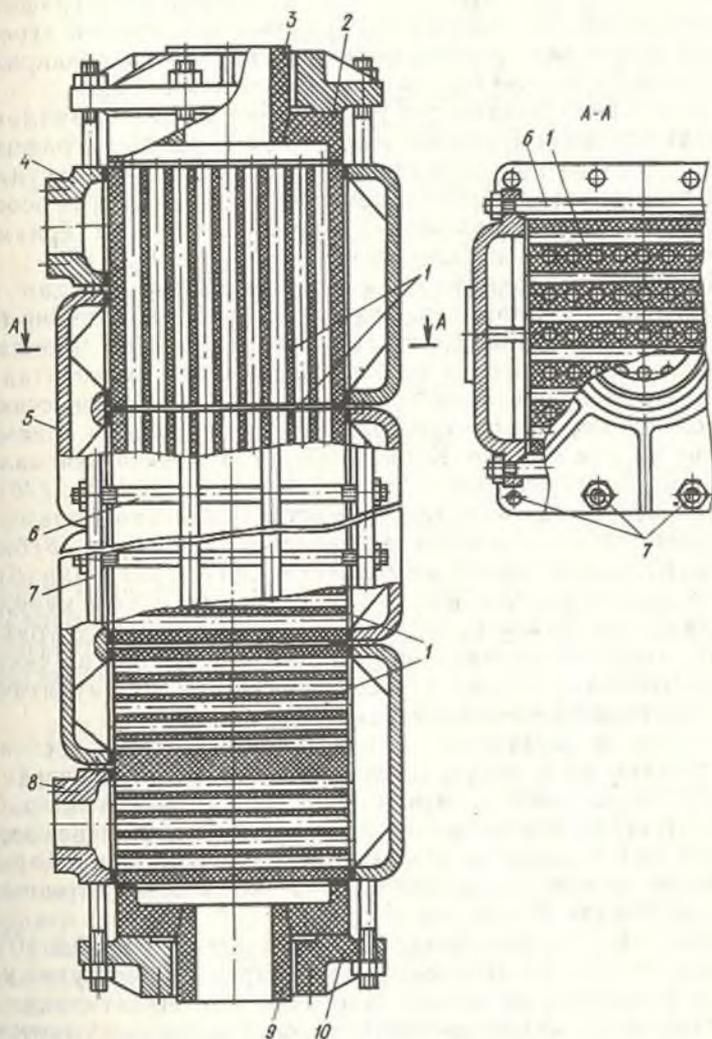
Ёниш маҳсулотлари тўғридан-тўғри суюқлик билан контактга учраганда иссиқликнинг йўқолиши жуда кам бўлади. Суюқликнинг қайнаши учун ботирилган горелка қўлланилган пайтда ёқилгининг ёниш иссиқлигидан фойдаланиш коэффициенти 95—96 % га етади.

Горелкали қурилмалар кўпинча буглатиш қурилмаларида коррозияга актив суюқликларни қуйилтириш учун ишлатилади.

11.6-§. БЛОКЛИ ВА ШНЕКЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Блокли иссиқлик алмашгичлар асосан графит ёки графитопластан тайёрланади. Блокли аппаратлар бир қатор муҳим афзалликларга эга: 1) графитнинг иссиқлик ўтказувчанлиги коррозияга бардошли пўлатга нисбатан 4 марта юқори, шу сабабдан бундай қурилмаларнинг самарадорлиги юқори; 2) агрессив муҳитлар (кислоталар, ишқорлар, органик ва ноорганик эритувчилар) га нисбатан юқори бардошликка эга; 3) нисбатан арзон.

Саноатда блокли қобик-трубалли иссиқлик алмашишиш қурилмаларининг трубалари графитдан тайёрланади. Графитнинг кимёвий мустаҳкамлигини ошириш учун унинг бўш ғовакларига



11.15-расм. Тўғри бурчакли вертикал блокли иссиқлик алмашиғи:

1 — прессланган блоқлар; 2 — тарқатиш камераси; 3 — агрессив иш муҳитининг кириши учун патрубк; 4 — ноагрессив иш муҳитининг чиқиши учун патрубк; 5 — қуйилғиш камералари; 6 — шпилкалар; 7 — тортувчи стерженлар; 8 — ноагрессив иш муҳитининг кириши учун патрубк; 9 — агрессив иш муҳитининг чиқиши учун патрубк; 10 — коңкоқлар.

фенол-формальдегид смоласи шимдирилади. Бундай графитдан тайёрланган иссиқлик алмашиниш қурилмалари, кимёвий агрессив муҳитни (суюлтирилган сульфат ва фосфат кислота, қиздирилган хлорид кислота) иситиш ва совитиш учун ишлатилади.

Блокли иссиқлик алмашгичларнинг камчилиги; қурилманинг материали (графит) чўзиш ва эгишга кам бардошли; графитдан қилинган деталларни пайвандлаш ёки кавшарлаш усуллари ёрдамида бир-бирига бириктириш мумкин эмас. Графит асосида тайёрланган деталларни фақат сунъий смолалар ёрдамида елимлаш мумкин.

11.15- расмда алоҳида прессланган блоклар (1) дан тайёрланган иссиқлик алмашгич кўрсатилган. Ушбу блоклар бир-бири билан махсус замазка ёрдамида бириктирилган. Блокларда иссиқлик ташувчи агентларнинг ўтиши учун горизонтал ва вертикал каналлар бор. Блокларнинг бирлашган жойини иссиқлик ва коррозияга бардош берувчи резина ёки фторопласт ёрдамида зичлантириш ҳам мумкин. Қурилманинг тарқатувчи камералари (2) бор. Ушбу камералар блоклар билан қопқоқлар (10) ва тортувчи стерженлар (7) ёрдамида мустаҳкамланган. Горизонтал каналлар ён томонида жойлашган қуйилиш камералари (5) билан туташган бўлади. Қуйилиш камералари ўзаро шпилкалар (6) ёрдамида бирлаштирилган. Одатда ноагрессив иш муҳити қурилманинг баландлиги бўйича эгри-бугри ҳаракат қилади. Патрубкалар (3) ва (9) агрессив иш муҳитнинг қурилмага кириши ва чиқиши учун, патрубкалар (8) ва (4) эса ноагрессив иш муҳитининг кириши ва чиқиши учун хизмат қилади.

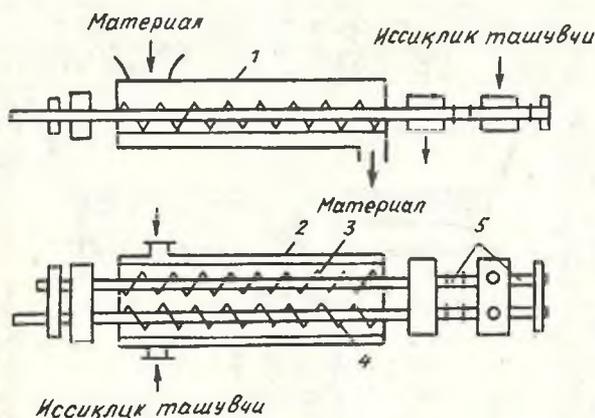
Бу иссиқлик алмашгичларда иссиқлик ташувчи агентнинг ҳаракатланиши учун кўндаланг кесими думалок бўлган вертикал каналлар ҳамда унга перпендикуляр бўлган каналчалар бор. Иссиқлик ташувчи агентларнинг биринчиси вертикал каналларда, иккинчиси эса горизонтал каналларда ҳаракатланади. Ҳар хил блокларнинг горизонтал каналлари бир-бири билан ён томондаги камералар орқали боғланган.

Графитли блокли қурилмада иш босимнинг қиймати $2,9 \cdot 10^5$ Па дан ошмаслиги керак. Блокли қурилмалар агрессив муҳит учун иссиқлик алмашгич ва конденсатор сифатида ишлатилади.

Шнекли иссиқлик алмашгич. Иссиқлик ўтказиш хусусияти кам ва қовушоқлиги юқори бўлган суюқликларни ҳамда сочилувчан моддаларни иситганда, иссиқлик алмашиниш тезлигини ошириш учун қурилманинг деворига тегиб турган муҳитнинг юза қисмини доимий равишда янгилаб туриш керак. Шу мақсадда бир вақтнинг ўзида моддаларни аралаштириб, шнек ёрдамида узатиш лозим (11.16- расм).

Қурилманинг чекка қисмидан тушаётган материал бир-бирига қараб айланма ҳаракат қилаётган шнекларда аралашиб, шнеклар материални қарама-қарши томонга ҳаракатлантиради ва қурилманинг иккинчи чекка томонидан чиқариб юборади.

Иситиш жараёнини иссиқлик ташувчи агент ёки материални саяжитиш тезлигини ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин.



11.16- расм. Шнекли иссиқлик алмашгич:

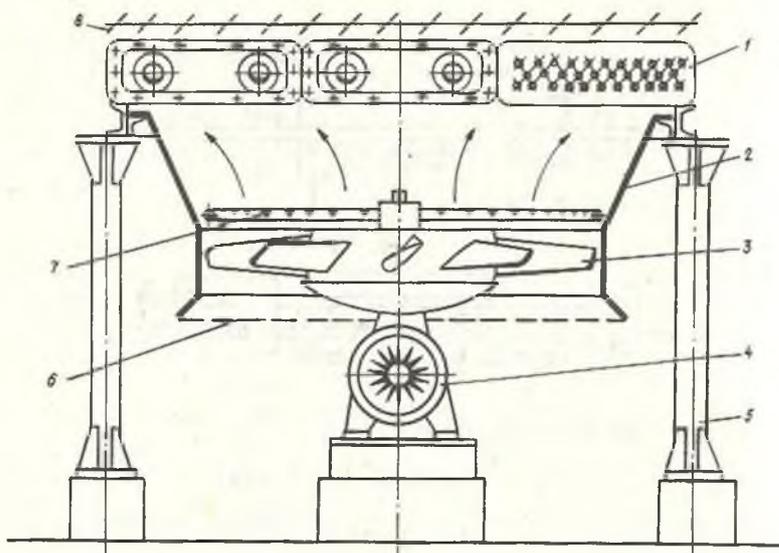
1 — қобик; 2 — гилоф; 3, 4 — шнеқлар; 5 — тирқишларни беркитадиган коплама.

Бундай қурилмалар нисбатан каттагина иситиш юзасига эга. Масалан, шнеқ узунлиги 3 м бўлганда унинг иситиш юзаси (гилофсиз) $2,6 \text{ м}^2$ га тенг бўлади. Асосий камчилиги нисбатан кўп энергия талаб қилади.

11.7- §. ҲАВО БИЛАН СОВИТИЛАДИГАН ҚУРИЛМАЛАР

Кимё, айниқса нефть кимёси саноатида иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг кўпчилик қисмини конденсатор ва совиткичлар ташкил этади. Турли маҳсулотларни конденслаш ва совитиш учун сув билан совитиладиган қурилмалардан, қобик-трубали ёки намланувчи иссиқлик алмашгичлардан фойдаланиш кўп миқдордаги сувнинг сарфи билан боғлиқ бўлади, оқибатда қурилмани ишлатиш билан боғлиқ бўлган сарфлар кўпаяди. Ҳаво ёрдамида совитиладиган қурилмалардан совиткичлар — конденсаторлар сифатида фойдаланиш қатор афзалликларга эга: 1) сувни тайёрлаш ва уни узатиш билан боғлиқ бўлган сарфларга эҳтиёж қолмайди; 2) таъмирлаш ишлари анча осонлашади, нархи эса камаяди; 3) трубаларнинг ҳаво айланиб ўтадиган ташқи юзасини махсус тозалашга эҳтиёж қолмайди; 4) совитиш жараёнини бошқариш осонлашади ва ҳоказо.

11.17- расмда ҳаво билан совитиладиган горизонтал қурилма кўрсатилган. Каркаснинг устига бир неча иссиқлик алмашиниш секциялари (труба ўрамлари) жойлаштирилган. Трубаларнинг ички қисмидан конденслаш (ёки совитиш) зарур бўлган суюқлик ўтказилади. Вентилятор орқали ҳаво ҳайдалади. Вентилятор электродвигатель билан бирга алоҳида рамага ўрнатилган. Вентиляторнинг устига сувни сочиб берадиган коллектор (ёки форсункалар) жойлаштирилган. Труба ўрамининг юқори қисмида



11.17- расм. Ҳаво билан совитиладиган горизонтал қурилма:

1 — трубади секция; 2 — диффузор; 3 — вентилятор; 4 — электродвигатель; 5 — каркас устуни; 6 — химоя қилувчи тўр; 7 — сувни сочиб берувчи коллектор; 8 — қия қилиб жойлаштирилган тўсиқлар.

қия қилиб жойлаштирилган тўсиқлар бор. Вентиляторнинг тагида эса химоя қилувчи тўр ўрнатилган. Вентилятор билан ҳайдалади- ган ҳаво иссиқлик алмашиниш секцияларига кириб, қиррали трубаларнинг ташқи юзасини айланиб ўтади; бунда трубаларнинг ичидан ҳаракатланаётган муҳит совийди ёки конденсланади.

Ёзда, яъни атроф муҳитнинг температураси юқори бўлганда, сувни сочиб берувчи форсункалар автоматик равишда ишга тушади. Ташқи температура паст бўлганда (қишда) электродвига- тель ва вентиляторни ўчириб қўйиш мумкин; бунда конденслаш ёки совитиш табиий конвекция таъсирида юз беради.

Бундан ташқари иссиқлик алмашиниш тезлигини ҳайдала- ётган ҳавонинг сарфини ўзгартириш орқали ҳам бошқариш мумкин. Бунинг учун вентилятор паррақларининг эгилиш бурчаги ёки труба ўрамининг устида жойлашган тўсиқчаларнинг қиялик бурчагини ўзгартириш орқали эришилади.

Қиш пайтида конденсацияланаётган маҳсулотнинг ўта совиб кетиш хавфи бор. Бунинг олдини олиш учун иссиқлик алмашиниш секцияларининг тагига қиррали трубалардан қилинган змеевикли иситгич ўрнатиш ҳам мумкин.

Трубаларнинг ташқи юзасидаги ҳавонинг иссиқлик бериш коэффициентини ички юзадаги иссиқлик бериш коэффициентига нисбатан тахминан 10 маротаба кичик бўлганлиги учун, труба- ларнинг ташқи юзаси қиррали қилиб тайёрланади. Трубаларни қиррали қилиб тайёрлаш коэффициенти, яъни қиррали трубанинг

ташки юзасини бир хил диаметрдаги текис труба юзасига нисбати, 10 дан 20 гача ўзгариши мумкин.

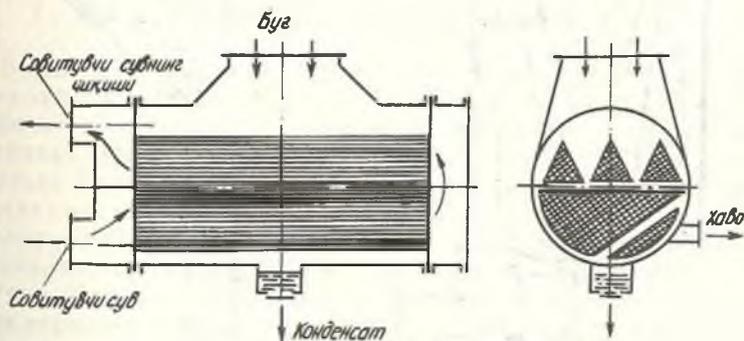
Ҳаво билан совитиладиган аппаратларда иш гилдирагининг диаметри 7 м гача бўлган вентиляторлар қўлланилади. Вентиляторларнинг гилдираклари пайвандланган алюминий ёки стеклопластдан, диффузор эса калинлиги 2 мм бўлган листли пулатдан тайёрланади.

11.8-§. ЮЗАЛИ ВА АРАЛАШТИРУВЧИ КОНДЕНСАТОРЛАР

Буг ёки газнинг суюқ ҳолатга ўтиш жараёни *конденсациялаш* дейилади. Кимё ва озик-овқат саноатида конденсациялаш жараёни кенг тарқалган. Масалан, буглатиш қурилмаларида вакуум ҳосил қилиш, бугнинг конденсацияланиш иссиқлигидан фойдаланиб қурилмани иситиш, ҳар хил сиқилиш температурали компонентлардан таркиб топган системаларни ажратиш учун конденсациялаш жараёнидан фойдаланилади.

Конденсациялаш жараёни олиб бориладиган қурилмалар *конденсаторлар* дейилади. Сув, айрим ҳолларда ҳаво ва бошқа совитувчи элткичлар совитувчи агент ҳисобланади.

Конденсаторлар *юзали* ва *аралаштирувчи* бўлади. Юзали конденсаторларда конденсацияланаётган буг ва совитувчи сув ўзаро иссиқлик ўтказувчи девор орқали ажратилган бўлади. Аралаштирувчи конденсаторларда эса буг сув билан тўғридан-тўғри аралашishi натижасида конденсациялашга учрайди.



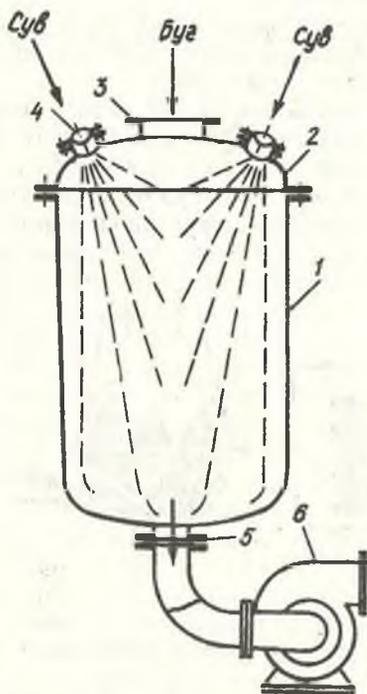
11.18- расм. Горизонтал қобик — трубаги конденсатор.

Юзали конденсаторлар тузилишига кўра юзали иссиқлик алмашилиш қурилмаларига ўхшайди. Кўпинча конденсация учун қобик-трубаги, «труба ичида труба» типидagi, намланувчи иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилади. 11.18- расмда горизонтал қобик-трубаги конденсатор кўрсатилган. Конденсаторда тўйинган буг бир хил температурада (t_r) конденсацияланади. Бунда буг яширинган буглатиш иссиқлигини беради. Конденсатнинг температурасини t_k деб олсак, у ҳолда ($t_r - t_k$) конденсат-

нинг совиш даражасини белгилайди. Конденсатнинг совиш даражаси деворнинг температурасига, иссиқлик алмашиниш юзасининг жойлашувига, бугдаги ҳаво ва конденсациялашга учрамайдиган газларнинг микдорига, бугнинг сарфига ва бошқа катталикларга боғлиқ.

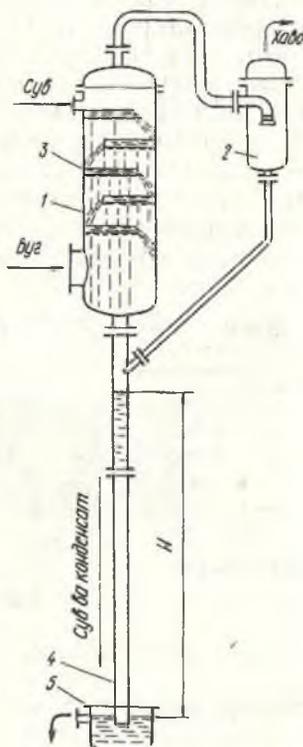
Аралаштирувчи конденсаторлар вакуум остида ишлайдиган турли қурилмаларда сийракланиш ҳосил қилиш учун ишлатилади. Булардаги вакуумни кўпайтириш учун совитувчи сувнинг температурасини камайитириш ва конденсатордан газларни ташқарига чиқариш зарур.

Буг ва сувнинг ўзаро ҳаракатига кўра аралаштирувчи конденсаторлар қарама-қарши ва тўғри йўналишли бўлади. 11.19- расмда нам тўғри йўналишли аралаштирувчи конденсатор кўрсатилган. Конденсатор қобиги (1) га қопқоқ (2) даги патрубок (3) орқали конденсацияланиши лозим бўлган буг киритилади.



11.19- расм. Тўғри йўналишли аралаштирувчи конденсатор:

1 — конденсатор қобиги; 2 — қопқоқ;
3 — бугнинг кириши учун патрубк;
4 — сочиб берувчи сопло; 5 — сув, конденсат ва ҳавони чиқариш учун патрубк;
6 — насос.



11.20- расм. Барометрик конденсатор:

1 — конденсатор; 2 — томчи ушлагич;
3 — тоқчалар; 4 — барометрик труба;
5 — барометрик идиш.

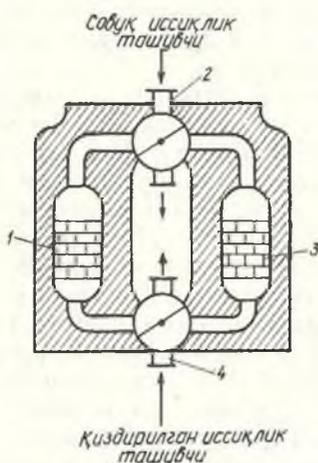
Совитувчи сув сопло (4) орқали сочиб берилади. Иситилган сув конденсат ва ҳаво билан бирга патрубок (5) орқали нам ҳаво насоси (6) ёрдамида ташқарига чиқарилади.

11.20- расмда қарама-қарши йўналишли барометрик конденсатор кўрсатилган. Қобикда 5—7 та токчалар бўлиб, уларда буг ва сув бевосита контактга учрайди. Токчаларда сувнинг баландлиги 40 мм га яқин бўлиб, токчалар чеккасидаги планкалар ёрдамида ушлаб турилади. Токчаларнинг юзаси яхлит ёки галвирсимон бўлади. Кўпинча яхлит токчалар ишлатилади. Буг пастки токчанинг тагига берилади ва юқорига қараб ҳаракат қилади. Буг токчалар орасида сув билан аралашishi натижасида конденсациялашга учрайди. Токчалар ўртасидаги масофа пастдан юқорига қараб камайиб боради, чунки бугнинг миқдори ҳам юқорига кўтарилган сари камаяди. Конденсаторга буг ва совитувчи сув билан бирга бирмунча ҳаво ҳам кириши мумкин. Ҳаво конденсаторнинг юқориги қисмидан томчи ушлагич орқали сўриб олинади. Томчи ушлагичда ҳаводан сув томчилари ажратилади; ажралган сув томчилари барометрик трубага тушади. Барометрик трубада конденсатордаги вакуумнинг қийматига тўғри келадиган сув устуни ушлаб турилади. Барометрик труба ташқаридаги хавонинг аппаратга кирмаслигига тўсқинлик қилиб, гидравлик затвор вазифасини бажаради. Конденсат ва сув барометрик труба орқали барометрик идишга тушади, сўнгра ташқарига чиқариб юборилади.

11.9-§. РЕГЕНЕРАТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

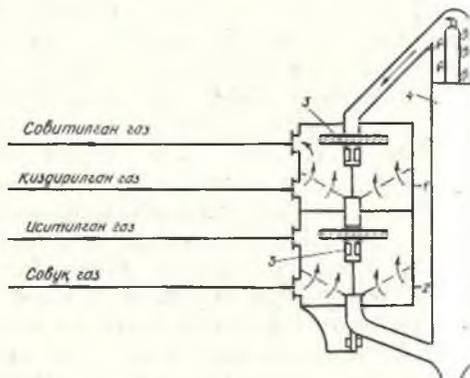
Бундай қурилмалар бирорта иссиқлик ташувчини олдин бошқа иссиқлик ташувчи таъсирида иситилган қаттиқ жисм билан навбатма-навбат контакт қилишига асосланган. Қаттиқ жисм (насадка) кўзгалмас ва ҳаракатланувчи ҳолатда бўлиб, даврий равишда иссиқлик ташувчилар таъсирида исийди ёки совийди. Насадка сифатида ўтга чидамли гиштлар, металл пластиналари ва шарлар, алюминий фольгаси ишлатилади. Кўзгалмас насадкали регенератив иссиқлик алмашгичнинг чизмаси 11.21- расмда кўрсатилган. Иссиқлик ташувчилар қирадиган йўналишдаги осма тўсиқларнинг чизмада кўрсатилган ҳолатида, ўнг камера (3) га қиздирилган иссиқлик ташувчи юборилади ва насадканинг қизиши юз беради; шу пайтнинг ўзида чап камера (1) га совуқ иссиқлик ташувчи юборилади, бунда унинг аввал қиздирилган насадка таъсирида исиши юз беради. Маълум вақтдан сўнг осма тўсиқлар қарама-қарши томонга ўзгартирилади, бунда иссиқлик алмашиши тескари йўналишда боради. Иссиқлик ташувчи агентлар йўналишидаги осма тўсиқлар ҳолатининг ўзгариши автоматик равишда бажарилади.

11.22- расмда эса ҳаракатчан насадкали регенератив иссиқлик алмашгич кўрсатилган. Бундай қурилмаларда оралик иссиқлик ташувчи (насадка) доимо ҳаракатда бўлади. Насадка чўмичли



11.21-рasm. Кўзгалмас насадкали регенератив иссиқлик алмашғич:

1 — насадкали чап камера; 2, 4 — патрубклар; 3 — насадкали ўнг камера.



11.22-рasm. Ҳаракатчан насадкали регенератив иссиқлик алмашғич:

1 — совитиш камераси; 2 — иситиш камераси; 3 — дисклар; 4 — чўмичли элеватор.

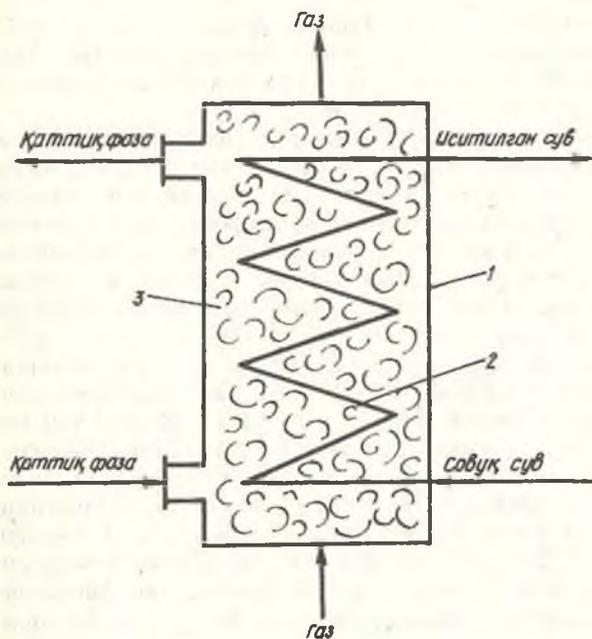
элеватор (4) ёрдамида узлуксиз равишда айланувчи дисклар (3) га бериб турилади. Ушбу дисклар қаттиқ заррачаларни газларни совитиш ва иситиш камералари (1) ва (2) га бериб туришни бошқаради. Камера (1) да қиздирилган газлар (кўпинча тунгли газлар) таъсирида ҳаракатдаги насадка қизийди. Камера (2) да эса қиздирилган насадка ўз иссиқлигини иситилиши лозим бўлган газга беради. Шундай қилиб, қурилмада доимий иссиқлик алмашиниш юз беради.

Ҳаракатчан насадка сифатида каолин, диабаз, алунд, алюминий оксид, магний, цирконий ва бошқа шу каби ўтга чидамли материаллардан тайёрланган, ўлчами 8—12 мм ли қаттиқ заррачалар ва шарлар ишлатилади. Насадканинг материали кимёвий жиҳатдан бардошли, ишқаланиш ва зарба таъсирига нисбатан тегишли кўрсаткичларга эга бўлиши керак. Заррачаларнинг ўлчамига кўра солиштирма юза ($10^5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ гача) эга бўлади.

Регенератив иссиқлик алмашғичнинг камчилиги: кўшимча чанг тозалайдиган қурилмаларни ўрнатиш талаб қилинади; газларни иситадиган ва совитадиган камераларни зичлантириш зарур; қурилманинг насадка ҳаракат қиладиган қисмлари абразив ейилишга учрайди.

11.10-§. МАВҲУМ ҚАЙНАШ ҚАТЛАМЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Ҳозирда иситиш, ўтга тоблаб қиздириш, ёниш, қуриштириш ва бошқа бир қатор жараёнларни тезлаштириш учун мавҳум қайнаш қатламли қурилмалар ишлатилмоқда.



11.23- расм. Мавхум қайнаш қатламли иссиқлик алмашғич:

1 — қобик; 2 — змеєвик; 3 — мавхум қайнаш қатлами.

11.23- расмда мавхум қайнаш қатламли иссиқлик алмашғичнинг чизмаси кўрсатилган. Қурилманинг пастки қисмига қаттиқ материал заррачалари юборилади. Қаттиқ заррачалар маълум критик тезлик билан берилаётган газ оқими таъсирида мавхум қайнаш ҳолатига келтирилади (4.16- § га қараңг). Мавхум қайнаш қатламига змеєвик шаклидаги иссиқлик алмашиниш юзаси туширилган. Змеєвикнинг ичидан иситилиши лозим бўлган сув юборилади. Бундай қурилмада иссиқлик мавхум қайнаш қатламидан змеєвик девори орқали сувга ўтади.

Мавхум қайнаш ҳолатида қаттиқ заррачаларнинг газ (одатда ҳаво) оқими таъсирида тезкор аралashiши юз беради, бунда температуралар майдони тезлик билан бир хил ҳолатга келади. Иссиқлик алмашиниш қуйидагича боради: 1) қаттиқ материал заррачалари ва газ оқими ўртасида; 2) мавхум қайнаш қатлами ва қатламда (ёки қурилма ташқарисида) жойлашган иссиқлик алмашиниш юзаси ўртасида.

Газ оқимидан мавхум қайнаш ҳолатидаги қаттиқ заррачаларга вақт бирлигида берилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$Q = \alpha F \Delta t, \quad (11.1)$$

бу ерда α — иссиқлик бериш коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; F — иссиқлик алмашиниш юзаси (қатламдаги қаттиқ заррачалар юзаларининг йигиндиси), м^2 ; Δt — газ ва қаттиқ материал температураларининг ўртача фарқи, К .

Мавҳум қайнаш қатлампидан қурилма деворига иссиқлик бериш коэффициенти газ оқими тезлиги маълум максимум қийматга етгунча ортиб боради. Газ тезлигининг кейинги ортиши оқибатида заррачаларнинг ҳажмий концентрацияси камаяди, қатламнинг эркин ҳажми катталашади, иссиқлик бериш коэффициенти эса камаяди. Мавҳум қайнаш қатламига ботирилган юза устидаги иссиқлик бериш коэффициенти $K = 100 \div 1100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ атрофида ўзгаради.

Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичларда газ муҳити учун мўлжалланган оддий трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларига нисбатан иссиқлик ўтказиш коэффициенти анча юқори. Иссиқлик ўтказиш коэффициентининг қиймати мавҳум қайнаш қатлами температурасининг кўтарилиши билан ортиб боради. Агар иссиқлик конвекциядан ташқари радиация йўли билан тарқалса ҳам, K нинг сон қиймати кўпаяди. Ғилофи орқали иситиладиган, даврий ишлайдиган цилиндрсимон мавҳум қайнаш қатламли қурилмаларда иссиқлик ўтказиш коэффициенти катта қийматга эга бўлиб $560 \div 840 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ га тенг бўлиши мумкин.

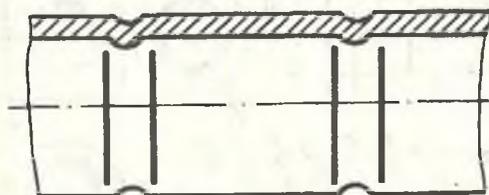
Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичларда в р и й ва уз л у к с и з ишлайдиган қурилмаларга бўлинади. Қаттиқ материал заррачаларининг қурилмадан бир текисда ўтишини ҳамда қаттиқ фаза ва газ оқимининг қарама-қарши ҳаракатини таъминлаш учун узлуксиз қурилмалар кетма-кет секцияларга бўлинади. Бундай иссиқлик алмашгичларда ишлатилиб бўлинган қаттиқ заррачалар қурилмадан доимо чиқарилиб турилади, уларнинг ўрнига бошқа донатор материал киритилиб турилади.

11.11-§. ҚОБИҚ-ТРУБАЛИ ҚУРИЛМАЛАРДА ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШНИ ТЕЗЛАШТИРИШ

Қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ишини тезлаштиришдан асосий мақсад — иссиқлик алмашиниш юзасининг иккала томонидаги термик қаршилиқни тенглаштиришдир. Буни икки усулда амалга ошириш мумкин: 1) иссиқлик алмашиниш юзаси F ни кўпайтириш, бунинг учун, масалан, иссиқлик бериш коэффициенти α кичик бўлган иссиқлик ташувчи агент томонидаги юзани қиррали қилиб тайёрлаш; 2) иссиқлик ташувчи агент гидродинамикасини тўғри танлаш орқали иссиқлик бериш коэффициенти α нинг қийматини кўпайтириш. Иккинчи усулдан фойдаланилганда иссиқлик алмашиниш юзасидаги чегара қатламнинг термик қаршилиги камаяди. Тадқиқотлардан маълумки, иссиқлик ўтказишга тўсқинлик қиладиган асосий факторлардан биттаси чегара қатламнинг қаршилиги ҳисобланилади.

Иссиқлик алмашилини яхшилаш учун трубалараро бўшлиқдаги ҳаракатсиз зоналарни йўқотиш керак. Бунинг учун иссиқлик ташувчи агентнинг трубалараро бўшлиқдан чиқишида ёки унга киришида тарқатувчи камераларни ўрнатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Иссиқлик алмашилини тезлаштириш учун турли турбулизаторлардан фойдаланиш мумкин. Турбулизаторлар трубалар ташқи юзасидаги иссиқлик ташувчи муҳит чегара қатламини гирдобсимон ҳолатга келтиради ёки уни емиради. Натижада термик қаршилиқ камайиб, иссиқлик бериш жараёни тезлашади. Масалан, ташқи юзасида ҳалқасимон ариқчалар бўлган трубалар (11.24- расм) ишлатилганда трубалараро бўшлиқдаги иссиқлик бериш коэффиценти 2 мартаба кўпаяди.



11.24- расм. Ҳалқасимон ариқчали труба.

Газ-суюқлик учун мўлжалланган иссиқлик алмашғида суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффиценти (α_c) 5 кВт/(м²·К) гача етиши мумкин. Газ томонида эса (α_r) 0,1 кВт/(м²·К) дан ортмайди. Бундай иссиқлик алмашғичларда текис трубалардан фойдаланиш қурилманинг массаси ва ўлчамини кўпайишига олиб келади. Шу сабабдан самарадорлиги кам бўлган иссиқлик ташувчи агентлар (газлар, қовушоқлиги катта бўлган суюқликлар) томонидаги трубаларнинг юзаси қиррали қилиб тайёрланади (11.25- расм).

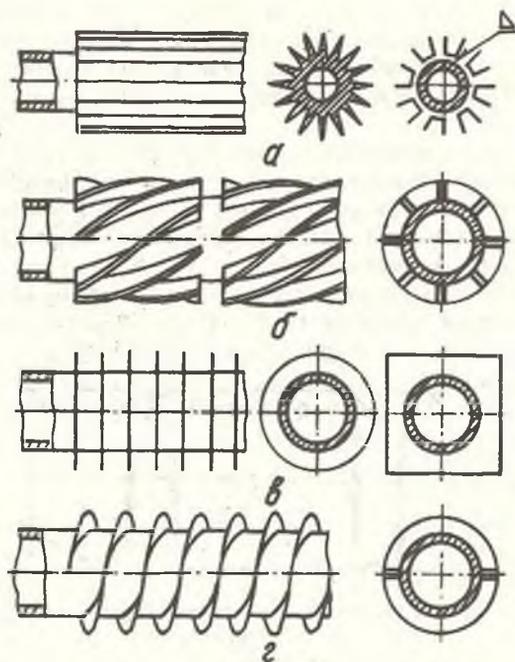
Трубаларни қиррали қилиб тайёрланганда қуйидаги тенгликка аҳамият берилиши керак:

$$\alpha_r F_r = \alpha_c F_c, \quad (11.2)$$

бу ерда α_r ва α_c — газ ва суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффиценти; F_r ва F_c — газ ва суюқлик томонидаги иссиқлик алмашилини юзаси.

Тадқиқотлардан маълумки, трубаларнинг юзаси қиррали қилинганда иссиқлик алмашилини юзасининг кўпайишидап ташқари, қирралар оқимнинг гирдобсимон ҳолатга келишига ёрдам берганлиги сабабли иссиқлик бериш коэффиценти ҳам ортади. Шуни ҳам ҳисобга олиш керакки, бунда иссиқлик ташувчи агентни ҳайдаш учун бўлган сарф кўпаяди.

Ташқи юзаси қиррали қилиб тайёрланган трубалар бир неча турга бўлинади: 1) бўйлама қиррали (11.25- расм, а); 2) кесилган



11.25- расм. Қиррали трубалар:

а) — бўйлама қиррали; б) — кесилган қиррали; в) — кўндаланг қиррали; д) — спиралсимон қиррали.

қиррали (11.25- расм, б); 3) кўндаланг қиррали (11.25- расм, в); 4) спиралсимон қиррали (11.25- расм, д).

Қирраларнинг самарадорлиги иссиқлик бериш коэффициентининг киймати белгиланади. Қиррали трубалар ишлатилганда α нинг киймати қирранинг баландлиги, шакли ва материалига боғлиқ бўлади. Агар иссиқлик бериш коэффициентининг киймати юқори бўлиши шарт бўлмаса, пўлатдан тайёрланган қирралардан фойдаланиш етарли, мабодо иссиқлик бериш коэффициентининг киймати юқори бўлиши зарур бўлганда мисли ёки алюминийли қирраларни ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Трубанинг ичидаги термик қаршилик катта бўлганда чегара қатламни емирадиган ёки гирдобсимон ҳолатга келтирадиган турбулизаторлардан фойдаланилади. Турбулизаторлар сифатида турли кўшимчалар (спираллар, диафрагмалар, дисклар) ва насадкалар (ҳалқалар, шарлар) ишлатилади; булардан фойдаланилганда трубанинг гидравлик қаршилиги кўпаяди.

11.26- расмда оқимни гирдобсимон ҳолатга келтиришга ёрдам берадиган кўшимчачили (диафрагмали, дискли, спиралли) трубалар кўрсатилган. Масалан, труба ичига диафрагма ўрнатилганда оқим $Re=140$ бўлганда турбулент ҳолатга ўтади (кўшимчачаси бўлмаган трубада эса бу ҳолат $Re=2300$ бўлганда юз беради). Демак,

диафрагмали трубада иссиқлик алмашилиш тахминан 4 маротаба тез боради.

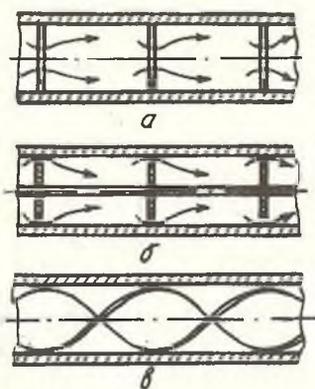
Юқорида айтиб ўтилган усуллардан ташқари, иссиқлик алмашилиш тезлаштиришнинг бошқа қатор усуллари ҳам таклиф этилган, жумладан, трубанинг ички юзасини киррали қилиб тайёрлаш, айланувчан турбулизаторлардан фойдаланиш, иссиқлик алмашилиш юзасини теб-рантириш ва ҳоказо.

11.12-§. ИСТИҚБОЛЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧ

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг янги конструкциялари саноатда ишлатилаётган ўхшаш қурилмаларга қўра юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга бўлиши, коррозияга бардошли, металлни кам ушлаши ва иссиқлик ташувчи агентларни қурилма орқали ўтказиш учун кам энергия сарфлаши керак. Истиқболли иссиқлик алмашичларни яратиш усулларидан биттаси иш муҳити чегара қатламини емириб ташлайдиган юзалардан фойдаланишдан иборатдир. Бу борада олимлар томонидан таклиф этилган пластина-спиралсимон иссиқлик алмашичлар диққатга сазовордир. Ушбу қурилмаларда иссиқлик алмашилиш юза сифатида кат-кат бурма шаклида тайёрланган спиралсимон листлар бажаради. Юзаси бурма ҳолатида бўлган каналлар бўйлаб иш муҳити ҳаракат қилганида чегара зонада иккиламчи оқимлар ва марказдан қочма кучлар пайдо бўлади. Натижада иссиқлик ташувчиларнинг чегара қатламини емирилиб кетади ва иссиқлик алмашилиш жараёни самарали боради.

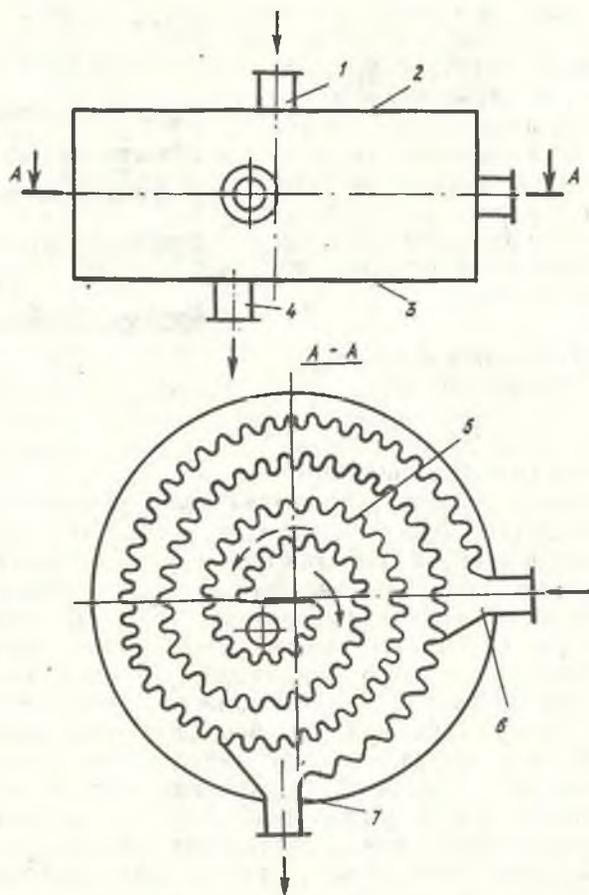
Пластина-спиралсимон қурилмада (11.27- расм) иссиқлик алмашилиш юза сифатида спиралсимон қилиб эгилган, кат-кат бурмали листлар (5) дан фойдаланилади. Листларнинг оралиғи иссиқлик ташувчи агентлар учун каналлар бўлиб, икки томондан қопқоклар (2), (3) билан беркитилган. Қарама-қарши йўналишли ҳаракат бўлганда, иссиқлик ташувчи агентлардан биттаси штуцер (6) орқали берилади, сўнгра бурмали листлар (5) оралиғидаги канал бўйича ҳаракат қилиб, қурилмадан штуцер (4) орқали чиқиб кетади. Иссиқлик ташувчининг бошқаси эса қурилмага штуцер (1) орқали қиради, сўнгра бурмали листлар (5) ҳосил қилган каналдан ўтиб, штуцер (7) ёрдамида ташқарига чиқади.

Пластина-спиралсимон иссиқлик алмашичнинг асосий афзаллиғи шундан иборатки, қурилма иссиқлик алмашилиш юзасининг бирлигига сарфланадиган қувватнинг қиймати, оддий қобик-трубали иссиқлик алмашичга нисбатан тахминан 10 маротаба кам.



11.26- расм. Турбулизация қиладиган қўшимчали трубалар:

а) диафрагмали; б) дискли; в) спиралли.



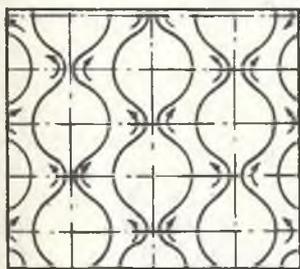
11.27- расм. Пластнаи — спиралсимон иссиқлик алмаш-
гич:

1, 4, 6, 7 — иссиқлик ташувчиларнинг кириши ва чиқиши учун штуцерлар;
2, 3 — қопқоқлар; 5 — қат-қат бурма қилинган листлар

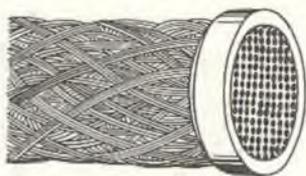
«Бавария Анлагенбау» фирмаси ишлаб чиққан «Бабекс» типдаги иссиқлик алмашгичи истикболли қурилмалардан ҳисобланади. Унинг иссиқлик алмашиниш юзаси ҳам чегара қатламларнинг қалинлигини кескин қамайтиради. Иссиқлик алмашгич қалинлиги 0,2—1,0 мм ли қолипланган металл листлардан тайёрланган блоклардан иборат (11.28- расм). Қолиплан йўли билан листларнинг юзасида ярим айланасимон ариқчалар пайдо қилинган. Листлар кетма-кет қилиб шундай бириктирилганки, уларнинг оралиғида бирданига трубаи ва трубалараро бўшлиқлар ҳосил бўлади. Мухит бурмаларнинг ташқи юзасидан ўтишида тўлқинсимон ҳаракат қилади. 1500 ва ундан кўпроқ листлардан

ҳосил бўлган блокнинг иссиқлик алмашилиш юзаси 7200 м^2 гача етиши мумкин. Қурилма қуйидаги қўрсаткичларга эга: трубалараро бўшлиқдаги босим $8,4 \text{ МПа}$ гача; трубалар ичидаги босим $10,5 \text{ МПа}$; температура $130\text{—}760^\circ\text{С}$.

Бир қатор кимёвий технология жараёнларидаги иш муҳити коррозияга активликка эга. Бундай муҳит учун коррозияга бардошли янги типдаги иссиқлик алмашигичларни лойиҳалаш муҳим аҳамиятга моликдир. Ҳозирда фторопластдан тайёрланган кичик диаметрли ($2\text{—}5 \text{ мм}$) трубалар асосида янги иссиқлик алмашигичнинг тажриба намунаси таклиф қилинган. Бундай қурилмаларни иссиқлик ташувчилар температуралари оралигидаги айирма 200°С гача бўлган шароитда ва босимнинг қиймати 1 МПа гача бўлганда ишлатиш мумкин. Қурилманинг асосий қисми эгилувчан полимер трубаларидан ташкил топган ўрам (ёки элемент) дан иборат (11.29- расм). Фторопластли иссиқлик алмашилиш қурилмаларидан сульфат кислота, хлороорганик маҳсулотлар, тиббиёт препаратлари ишлаб чиқаришда фойдаланиш мумкин.



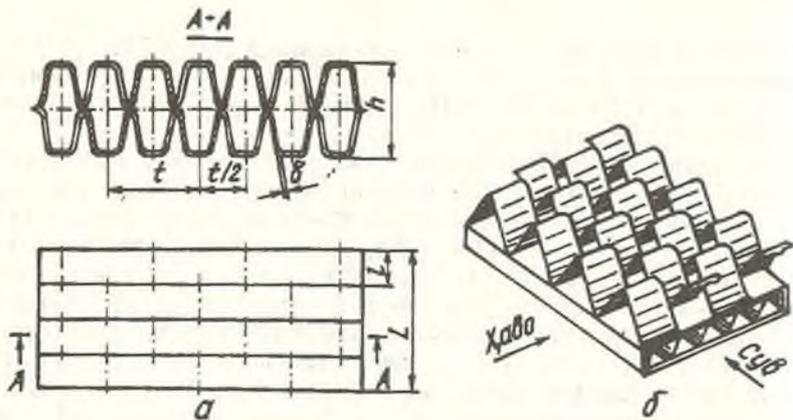
11.28- расм. «Бабекс» типдаги иссиқлик алмашигичнинг трубаги ўрами.



11.29- расм. Фторопластдан қилинган трубаги иссиқлик алмашигич элементи.

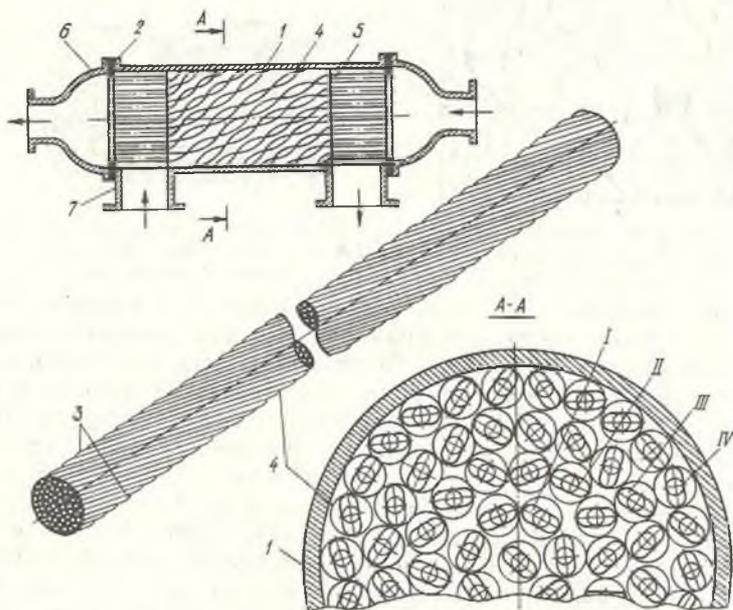
Трапециясимон ва учбурчак шаклидаги каналлар ҳосил қиладиган пластинали — қиррали иссиқлик алмашилиш юзаси (11.30- расм) дан фойдаланиб, истиқболли иссиқлик қурилмаси конструкциясини яратиш мумкин. Иссиқлик алмашилиш юзаси қиркиб бўлакланган қирралардан иборат бўлиб, қирралар бирига нисбатан $0,5 \text{ л}$ га силжиган бўлади (l — қирраларнинг қадами). Бунда узунлиги l га тенг бўлган ҳар бир қирранинг олдинги қисми, ундан иссиқлик ташувчи агент айланиб ўтганда, қўндаланг уюрмаларни ҳосил қиладиган манба бўлиб хизмат қилади, натижада қирраларнинг юзасидаги иссиқлик бериш жараёни тезлашади. Ушбу иссиқлик юзасидан транспорт машиналарининг турли типдаги ҳаволи ва ёғли радиаторларида, энергетик қурилмаларда ва бошқа пластинали-қиррали иссиқлик алмашигичларда фойдаланилганда қурилмаларнинг массаси, ўлчами ва металл ушлашлиги $1,5\text{—}2$ маротаба камайган.

Трубалараро бўшлиқдаги оқимнинг бир текисда аралашишини таъминлаш орқали иссиқлик алмашилиш жараёни самарадорлигини ошириш имконияти вужудга келади. Бундай муаммони ҳал



11.30-расм. Трапециясимон (а) ва учбурчакли (б) каналлардан ҳосил бўлган пластинали — қиррали кесилган иссиқлик алмашиниш юзаси:

t — қирраларнинг қадами; h — қирранинг баландлиги; δ — қирранинг қалинлиги; l — битта қирранинг кенглиги; L — қиррали юзанинг кенглиги.



11.31-расм. Буралган трубалар ўрамидан ташкил топган иссиқлик алмашгич:

1 — қобик; 2 — трубаги тўр; 3 — буралган трубалар ўрами; 4 — буралган труба; 5 — трубанинг охириги тўғри бўлаги; 6, 7 — патрубклар; I — IV — ўрамдаги труба қаторлари.

этиш учун зич жойлашган ва буралган трубалар ўрамини суюқлик (ёки газ) оқими томонидан бўйлама ва кўндаланг ўтишини ташкил этиш орқали ҳам эришиши мумкин. 11.31-расмда буралган трубалар ўраминдан таркиб топган иссиқлик алмашилиш қурилмаси чизмаси кўрсатилган. Буралган трубалар ўрамида тартибли уюрмали оқимлар пайдо бўлади; бунда, масалан, иш муҳитининг иссиқлик алмашилиш юзасида томчили оқиб келиб, оқиб чиқиш тарзидаги ҳаракати ва оқимнинг қўшимча гирдобсимон ҳолатга келиши юз беради. Бундан ташқари, ҳосил бўлган уюрмали оқим муҳитнинг яхши аралашини таъминлайди.

11.13-§. ҚОБИҚ-ТРУБАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ ТАРТИБИ

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини лойиҳалашда улар учун аввал турли ҳисоблаш ишлари бажарилади. Ҳисоблаш беш қисмдан иборат бўлади: 1) иссиқлик ҳисоби; 2) конструктив ҳисоблаш; 3) гидравлик ҳисоблаш; 4) механик ҳисоблаш; 5) техникавий-иктисодий ҳисоблаш. Одатда бундай ҳисоблашлар бир неча вариантлар бўйича бажарилади. Тапланган вариантни баҳолаш қуйидаги энг мақбул белгиларнинг бирортаси бўйича олиб борилади: фойдали иш коэффициентини, 1 м^2 юзага сарфланадиган энергия миқдори, энг мақбулликнинг техник-иктисодий мезони ва бошқалар.

Узлуксиз ишлайдиган, буг-суюқлик муҳитига мосланган трубали иситкичнинг ҳисобини кўриб чиқамиз. Қурилманинг иссиқлик ҳисоби конструктив ва гидравлик ҳисоблаш билан узлуксиз боғлиқликда олиб борилади.

Иссиқлик ҳисоби. Қурилмаларнинг иссиқлик ҳисобидан асосий мақсад зарур бўлган иссиқлик алмашилиш юзаси F ни топишдир. F ни аниқлаш учун иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфи, уларнинг дастлабки ва охириги температуралари берилган бўлади.

Бундай иссиқлик ҳисоби натижасида қуйидагилар аниқланади: 1) ўртача температуралар фарқи ва иш муҳитининг ўртача температураси; 2) иссиқлик миқдори ва иш жисмларининг сарфи; 3) иссиқлик ўтказиш коэффициентини; 4) иситиш юзаси.

Ҳисоблаш учун қуйидаги бошланғич маълумотлар берилган бўлиши керак.

1. Иситилаётган эритманинг миқдори G кг/с.
2. Эритма концентрацияси, %.
3. Эритманинг бошланғич ва охириги температураси t_a , t_o .
4. Иситкичнинг тури — вертикал, горизонтал, йўллар сопи.
5. Иситувчи буг босими P , Па ёки температураси t , °С.
6. Пулат трубаларнинг ички ва ташқи диаметри $d_{\text{и}}$ ва $d_{\text{т}}$,

мм.

7. Труба узунлиги l , м.
8. Эритманинг ҳаракат тезлиги w , м/с.
9. Иситиш юзасидан фойдаланиш коэффициентини ϕ .

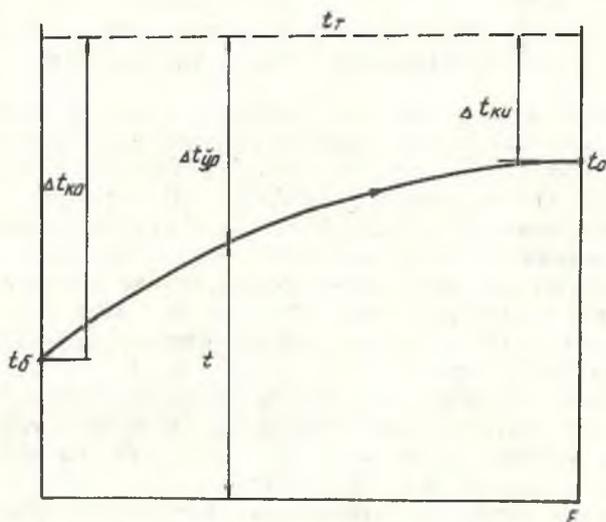
Ҳисоблаш қуйидаги тартибда олиб борилади.

Иситкичнинг температура шартларини аниқлаш. Тўйинган буг босими P га кўра унинг тўйиниш температураси t_r махсус қўлланмалардан топилади. Иситишнинг бошланишида температураларнинг максимал (ёки катта) фарқи:

$$\Delta t_{ка} = t_r - t_0. \quad (11.3)$$

Иситишнинг охиридаги муҳит температураларининг минимал (ёки кичик) фарқи:

$$\Delta t_{ки} = t_r - t_0. \quad (11.4)$$



11.32- расм. Юзали иссиқлик алмашғични ҳисоблашга доир.

$\Delta t_{ка}$ ва $\Delta t_{ки}$ ларнинг қиймати 11.32- расмдан аниқланади. Ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_{ка} - \Delta t_{ки}}{2,31g \frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{ки}}} \quad (11.5)$$

$\frac{\Delta t_{ка}}{\Delta t_{ки}} < 2$ бўлса, $\Delta t_{ср}$ қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_{ка} + \Delta t_{ки}}{2} \quad (11.6)$$

Иситилаётган муҳитнинг ўртача температураси:

$$t = t_r - \Delta t_{ср}. \quad (11.7)$$

Иситилаётган эритманинг физик катталигини топиш. Уртача температура (ва эритманинг концентрацияси) бўйича махсус қўлланмадаги жадваллардан фойдаланиб берилган иссиқлик ташувчи агентларнинг физик миқдори топилади:

- 1) қовушоқлик μ Па.с ёки ν , $\text{м}^2/\text{с}$;
- 2) зичлик ρ $\text{кг}/\text{м}^3$;
- 3) солиштирма иссиқлик сиғими c , $\text{Ж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;
- 4) иссиқлик ўтказувчанлик λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- 5) температура ўтказувчанлик a , $\text{м}^2/\text{с}$;
- 6) Прандтл сони $Pr = \frac{\nu}{a}$.

Иссиқлик миқдори ва буг сарфини аниқлаш. Суюқликни иситиш учун кетган иссиқлик миқдори (Вт) қуйидаги тенгламадан топилади:

$$Q = xGc(t_0 - t_6). \quad (11.8)$$

бунда $x = 1,02 \div 1,05$ — иссиқликнинг йўқотилишини ҳисобга олувчи коэффициент; G — суюқлик сарфи, $\text{кг}/\text{с}$; c — эритманинг ўртача солиштирма иссиқлик сиғими, $\text{Ж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; t_0 — суюқликнинг охириги температураси, $^{\circ}\text{C}$; t_6 — суюқликнинг бошланғич температураси, $^{\circ}\text{C}$.

Буг сарфи ($\text{кг}/\text{с}$) қуйидагича топилади:

$$D = \frac{Q}{i - \theta}. \quad (11.9)$$

i — иситувчи бугнинг энтальпияси, θ — конденсатнинг энтальпияси, $\text{Ж}/\text{кг}$;

$$\theta = t_r - (2 \div 5^{\circ}\text{C}).$$

i — махсус қўлланмаларда берилган буг босими P бўйича олинади.

Иссиқлик ўтказиш коэффициентини аниқлаш. Бир ва кўп қаватли текис юзалар учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти K $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_n + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11.10)$$

бу ерда α_1 ва α_2 — иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчилар учун иссиқлик бериш коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\sum r_n$ — девор (девор ва ифлосликлар қатламлари билан биргаликда) термик қаршиликларининг йиғиндиси, $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$.

(11.10) тенгламадан, трубаининг ички диаметри d_n ни унинг ташқи диаметри d_r га нисбати $\frac{d_n}{d_r} > 0,5$ бўлган шароитда, цилиндрсимон юзалар учун K ни ҳисоблашда фойдаланиш мумкин.

Цилиндрсимон юзалар (трубалар) учун иссиқлик ўтказиш коэффициентлари 1 м труба узунлигига нисбатан олинади K_R Вт/(м·К) ва қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_n} + \sum \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_T}{d_n} + \frac{1}{\alpha_2 d_T} + \sum \frac{r_3}{d_3}} \quad (11.11)$$

бу ерда λ — девор материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентлари, Вт/(м·К); r_3 — ифлосликларнинг термик қаршиликлари, (м²·К)/Вт; d_3 — труба ифлосликлар билан қопланган диаметри, м.

Девордаги ифлосликларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ($1/r_3$) иссиқлик ташувчининг турига, унинг температураси ва тезлигига ҳамда девор материалига, иситувчи муҳитнинг температурасига, қурилманинг тозаланмасдан ишлайдиган даврига (қисқа қилиб айтганда, чўкма ёки коррозия маҳсулотининг турига) боғлиқ бўлади. r_3 нинг аниқ қийматини фақат тажриба йўли билан аниқлаш мумкин. Ифлосликларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги ($1/r_3$) тўғрисидаги тахминий қийматлар тегишли адабиётларда келтирилган. Масалан, ўрта сифатли ифлосланган сув учун девордаги ифлосликнинг иссиқлик ўтказувчанлиги $1/r_3 = 1400 \div 1860$ Вт/(м²·К).

Иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 критериял тенгламалар ёрдамида топилади. Масалан, бизнинг мисол учун баландлиги H бўлган вертикал трубалар ўрама ташки юзасида бугдан деворга берилаётган иссиқлик бериш коэффициенти α_1 қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\alpha = 1,15 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r_g}{\mu \Delta t H}} \quad (11.12)$$

Конденсатнинг физик-кимёвий катталиклари λ , μ , ρ юпка катлам (пленка)нинг ўртача температураси $t_{на} = \frac{t_T + t_d}{2}$ бўйича топилади. Конденсацияланиш иссиқлиги r тўйиниш температураси t_T га қараб аниқланади. Температуралар фарқи қуйидаги айирмага тенг:

$$\Delta t = t_T - t_d,$$

бу ерда t_d — деворнинг температураси.

Агар иситиш трубалари горизонтал бўлса, бунда бугнинг труба деворларига иссиқлик бериш коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$\alpha = 0,728 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \rho^2 r_g}{\mu t d}} \quad (11.13)$$

бу ерда d — труба диаметри.

Деворлардан иситилаётган мухитга иссиқлик бериш коэффициентлари ҳаракат режимига кўра ҳар хил критериялар тенгламалар ёрдамида топилади. Ҳисоблаш тенгламасини топиш учун аввал Рейнольдс мезони Re аниқланади. Сўнгра тегишли критериялар тенглама танланади. Масалан, турғун турбулент режимда ($Re \geq 10^4$) тўғри труба ичидаги мажбурий ҳаракат пайтидаги иссиқлик бериш коэффициентлари α ни аниқлаш учун қуйидаги критериялар тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}. \quad (11.14)$$

ёки

$$\frac{\alpha d_s}{\lambda} = 0,023 \left(\frac{\omega d_s}{\nu} \right)^{0,8} \left(\frac{c\mu}{\lambda} \right)^{0,4}. \quad (11.15)$$

бу ерда $d_s = 4S/\Pi$ — эквивалент диаметр, S — оқим кўндаланг кесимининг юзаси, Π — кесимнинг ҳўлланган периметри (думалок кесимли трубалар учун d_s трубанинг ички диаметрига тенг бўлади); ω — иссиқлик ташувчи мухитнинг ўртача тезлиги; λ, ν, c, μ — иссиқлик ташувчи агентнинг физик-кимёвий катталиклари, уларнинг сон қийматлари мухитнинг ўртача температураси бўйича тегишли қўлланмалардан топилади.

(11.14) тенглама тўғри труба узунлиги L ни унинг диаметри d га нисбати $L/d > 50$ бўлган шароит учун яхши натижа беради.

Оралиқ режим учун ($2300 < Re < 10^4$) аниқ тенгламалар ишлаб чиқилмаган. Тахминий ҳисоблашлар учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин.

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43}. \quad (11.16)$$

Ламинар режим учун ($Re < 2300$) қуйидаги критериялар тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$Nu = 0,17 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \left(\frac{Pr}{Pr_d} \right)^{0,25}. \quad (11.17)$$

бу ерда $Gr = \frac{g l^3 \beta \Delta t}{\nu^2}$ — Грасгоф мезони; l — аниқловчи геометрик

ўлчам (труба учун — унинг диаметри, текис вертикал юза учун — унинг баландлиги); β — суюқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти; Δt — девор ва суюқлик (ёки тескари) температуралари оралиғидаги фарқ; Pr — суюқликнинг ўртача температураси бўйича ҳисобланган Прандтл сони; Pr_d — суюқликнинг девор ўртача температураси бўйича ҳисобланган Прандтл сони. Сўнгра α нинг қиймати Нуссельт мезони орқали топилади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}.$$

Иситиш юзасини топиш. Иссиқлик алмашгичнинг иситиш юзаси $F(m^2)$ иссиқлик ўтказишнинг умумий тенгламасидан топилади:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{cp}}$$

Бу юза учун қабул қилинган иситкичнинг схемаси трубаларнинг диаметри ва узунлигига кўра жойлаштирилади. Иситиш юзасини жойлаштириш иситкичнинг конструктив ҳисобини ташкил этади.

Конструктив ҳисоблашнинг умумий мақсади иссиқлик алмашиниш қурилмасининг асосий ўлчамларини топишдан иборат. Бунда қуйидагилар аниқланади: қурилма трубали қисмининг ўлчамлари, трубаларнинг сони, тўрда трубаларнинг жойлашуви, қурилма диаметри, қурилма баландлиги, патрубоклар диаметри.

Қурилма трубали қисмининг ўлчамларини аниқлаш. Битта йўлдаги трубаларнинг кўндаланг кесимини топамиз:

$$\dot{t}_\tau = \frac{G}{\rho v}, \quad (11.18)$$

бу ерда G — суюқликнинг сарфи, кг/с; ρ — суюқликнинг зичлиги, кг/м³; v — суюқликнинг тезлиги, м/с.

Битта йўлдаги трубаларнинг сони:

$$n_1 = \frac{\dot{t}_\tau}{0,785 \cdot d_u^2}. \quad (11.19)$$

d_u — трубанинг ички диаметри, м.

Ҳамма йўлдаги трубаларнинг узунлиги:

$$L = \frac{F}{\pi d_x n_1}, \quad (11.20)$$

бу ерда F — иситкичнинг иситиш юзаси, м²; d_x — трубаларнинг ҳисобий диаметри, м; d_x нинг қиймати α_1 ва α_2 нинг нисбатларига боғлиқ. Агар $\alpha_1 \approx \alpha_2$ бўлса, $d_x = 0,5 (d_u + d_\tau)$, $\alpha_1 \gg \alpha_2$ бўлса, $d_x = d_\tau$, $\alpha_1 \ll \alpha_2$ бўлса, $d_x = d_u$.

Йўллар сони:

$$Z = \frac{L}{l}. \quad (11.21)$$

бу ерда l — трубаларнинг қабул қилинган узунлиги ($l = 1 \div 3$ м).

Тўрда жойлашган трубаларнинг умумий сони:

$$n = Z \cdot n_1, \quad (11.22)$$

Трубаларнинг тўрда жойлашуви. Трубалар тўрда уч хил усул билан жойлаштирилиши мумкин: тўғри олтибурчакларнинг қирралари бўйлаб; квадратларнинг томонлари бўйлаб; концентрик

айланалар бўйлаб. Кўпинча биринчи усулдан фойдаланилади. Бунда тўрдаги трубаларнинг сони куйидагича аниқланилади:

$$n_0 = 3a(a-1) + 1 = \frac{3}{4}(\delta^2 - 1) + 1. \quad (11.23)$$

a — катта олтибурчакнинг битта томонида жойлашган трубалар сони; $\delta = 2a - 1$ — катта олтибурчакнинг диагонали бўйлаб жойлашган трубалар сони.

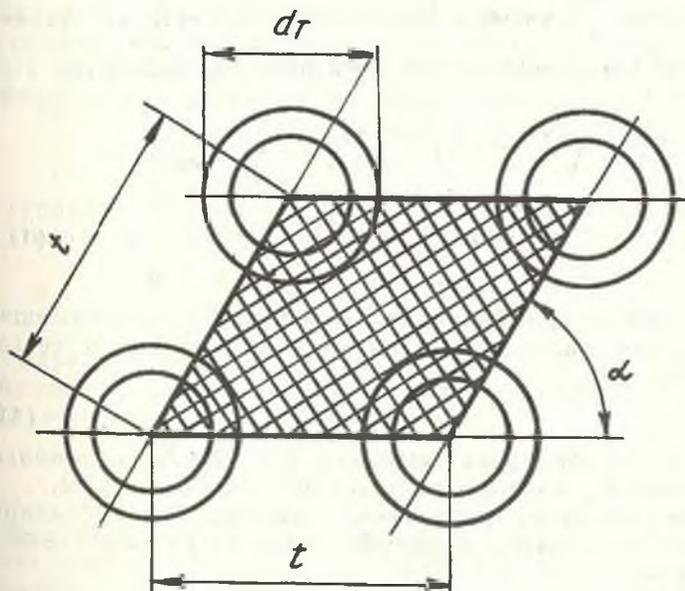
Трубалар олтибурчакларнинг қирралари бўйича жойлаштирилганда тўрнинг бир қисми фойдаланилмай қолади. Шу сабабли, агар $a > 8$ бўлганда, кўшимча яна m миқдордаги трубаларни жойлаштириш имконияти пайдо бўлади. Бунда умумий трубаларнинг сони кўпаяди:

$$n = n_0 + m. \quad (11.24)$$

Одатда $m = (0,1 \div 0,18)n$.

Аппарат қобигининг ички диаметрини аниқлаш. Қобик ичига жойлаштирилган трубали тўрнинг майдони куйидаги тенглама орқали топилади:

$$\Phi = \Phi_\phi + \Phi_\psi = \frac{\Phi_\phi}{\psi}, \quad (11.25)$$



11.33-расм. Битта труба учун трубали тўрнинг фойдали майдонини аниқлашга доир.

бу ерда Φ_ϕ — трубалар томонидан эгалланган фойдали майдон; Φ_s — трубалар жойлашмаган эркин майдон; ψ — труба тўридан фойдаланиш коэффициенти; олтибурчаклар кирралари бўйича жойлаштирилганда $\psi = 0,6$ — кўп йўлли, $\psi = 0,9$ — бир йўлли аппаратлар учун.

Битта трубанинг фойдали майдони (11.33- расм) $l \sin \alpha$ га тенг (l — трубаларнинг жойланиш қадами, $\alpha = 60^\circ$ — труба каторларининг марказий чизиқлари ҳосил қилган бурчак). Бунда ҳамма трубалар n учун трубади тўрнинг майдони:

$$\Phi = \frac{nt^2 \sin \alpha}{\psi} \quad (11.26)$$

(11.20) тенгламага асосан битта йўлли трубаларнинг иситиш юзаси ($d_x = d$, бўлганда):

$$F = n\pi d_+ l \quad (11.27)$$

Бундан

$$n = \frac{F}{\pi d_+ l} \quad (11.28)$$

Агар $\Phi = \frac{\pi D_0^2}{4}$ ҳисобга олинганда қобикнинг ички диаметри D_0 (м ҳисобида) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\begin{aligned} D_0 &= \sqrt{\frac{4\Phi}{\pi}} = \sqrt{\frac{4nt^2 \sin \alpha}{\pi\psi}} = \sqrt{\frac{4Ft^2 \sin \alpha}{\pi\psi\pi d_+ l}} = \\ &= 0,635 \frac{t}{d_+} \sqrt{\frac{F d_+ \sin \alpha}{l\psi}} \end{aligned} \quad (11.29)$$

Аппаратнинг тўла баландлигини топиш. Иссиқлик алмашиниш аппаратининг баландлиги (ёки узунлиги) қуйидаги тенглама билан топилади:

$$H = l + 2\delta + 2h, \quad (11.30)$$

бу ерда l — трубаларнинг узунлиги; δ — тўрнинг қалинлиги, м; h — кирувчи ва чиқувчи камераларнинг баландлиги, м.

Патрубокларнинг диаметрини аниқлаш. Патрубокларнинг ички диаметри берилган муҳитнинг сарфига ва ҳаракат тезлигига қараб аниқланади:

$$D_{ii} = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega}}, \quad (11.31)$$

бу ерда V — муҳитнинг сарфланиш миқдори, м³/с; ω — муҳитнинг ҳаракат тезлиги, м/с.

Ҳисоблашлар учун қуйидаги тезлик қийматларидан фойдаланиш мумкин: суюқликлар $0,1 \div 2,5$ м/с; газлар $2 \div 20$ м/с; сув буги $15 \div 60$ м/с.

Гидравлик ҳисоблашдан асосий мақсад иссиқлик алмашилиш қурилмасидаги ишқаланиш ҳамда маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун кетган босимни ва иш муҳитини қурилмадан ўтказиш учун керак бўлган қувватни топишдан иборат.

Кобиқ-трубали иссиқлик алмашгичнинг трубали қисми ҳамда кўндаланг тўсиқлари бўлмаган трубалараро бўшлиғи учун гидравлик қаршилиқ (ΔP , Па) ни қуйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{и}} + \Delta P_{\text{мк}} = \lambda \frac{z l}{d_3} \rho \frac{\omega^2}{2} + \sum \xi \frac{\rho \omega^2}{2}. \quad (11.32)$$

бу ерда $\Delta P_{\text{и}}$ — ишқаланиш қаршилиқларини енгиш учун йўқотилган босим, Па; $\Delta P_{\text{мк}}$ — маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун йўқотилган босим, Па; λ — ишқаланиш коэффиценти; l — трубаларнинг битта йўли узунлиги, м; z — йўлларнинг сони; d_3 — эквивалент диаметр, м; ρ — суюқлик ёки газнинг зичлиги, кг/м³; ω — оқимнинг тезлиги, м/с; ξ — маҳаллий қаршилиқ коэффиценти.

Ишқаланиш коэффицент λ муҳитнинг ҳаракат режимига ва труба деворларининг гадир-будирлик даражасига боғлиқ. Ламинар режимда ($Re < 2300$) гадир-будирлик ишқаланиш коэффиценти амалий жиҳатдан таъсир қилмайди ва думалоқ кесимли трубалар учун λ нинг қиймати қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (11.33)$$

Турбулент режимда ($2300 < Re < 10^4$) гидравлик текис трубалар (шина, мис, қўрғошин) учун:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}. \quad (11.34)$$

Гидравлик гадир-будир трубалар (пўлат, чўянли) учун турбулент режимда ($Re > 2300$) λ ни ҳисоблаш учун қуйидаги тенгламадан фойдаланилади:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\frac{\epsilon}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right]. \quad (11.35)$$

$Re > 10^5$ бўлганда турбулент режим ўта ривожланган бўлиб, λ нинг қиймати Re га боғлиқ бўлмай қолади. Бундай ҳолат *автомодел режими* деб юритилади. Ушбу режимда λ нинг қиймати қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3,7}{\epsilon}. \quad (11.36)$$

бу ерда $\epsilon = k/d$, трубанинг нисбий гадир-будирлиги; d , — трубанинг эквивалент диаметри; k — труба юзасининг ўртача абсолют гадир-будирлиги; k нинг тахминий қиймати тегишли қўлланмаларда берилган бўлади.

Эквивалент диаметр d , суюқлик ёки газ ўтадиган каналнинг шаклига кўра ўзгаради. Каналлар кўндаланг кесимининг шаклига кўра эквивалент диаметрнинг қиймати II.1-жадвалдан фойдаланиб ҳисобланади.

II.1-жадвал. Эквивалент диаметрнинг қийматини аниқлаш

Кўндаланг кесимнинг шакли	Эслатма
Ҳалқасимон $D - d_n$	D — ташқи диаметр, d_n — ички диаметр
Квадрат a	a — квадратнинг томони
Тўғри тўртбурчакли $\frac{2a}{a+b}$	a ва b — тўғри тўртбурчакликнинг томонлари
Трубалар орасидаги бўшлиқ	D — қурилманинг ички диаметри d — трубаларнинг ташқи диаметри, n — трубалар сони
$D^2 - nd$ $D = nd$	

Маҳаллий қаршилиқлар коэффицентларининг қиймати тажриба йўли билан аниқланади ва тегишли қўлланмаларда берилган бўлади. Қобик-трубали иссиқлик алмашилиш қурилмалари учун ҳисоблаш пайтида маҳаллий қаршилиқлар коэффицентининг қийматини қуйидагича олиш мумкин:

Трубали бўшлиқ

Кирувчи ёки чиқувчи камера	—1,5
Йўллар ёки секциялар оралиғида 180° га бурилиш	—2,5
Трубаларга кириш ёки улардан чиқиш	—1,0

Трубалараро бўшлиқ

Трубалараро бўшлиққа кириш ёки ундан чиқиш	— 1,5
Трубалараро бўшлиқдаги тўсиқ орқали 180° га бурилиш	— 1,5
Трубалараро бўшлиқда 90° га бурилиш	1,0

Иссиқлик алмашигич учун ΔP нинг қиймати аниқлангандан сўнг, суюқликни қурилма орқали ҳайдаш учун керак бўлган насоснинг қуввати (N кВт) топилади:

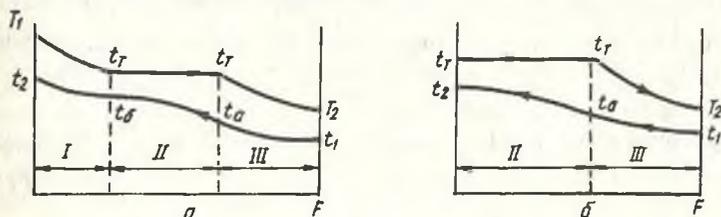
$$N = \frac{G \Delta P}{1000 \eta}, \quad (11.37)$$

бу ерда G — суюқлик сарфи, кг/с; ρ — суюқлик зичлиги, кг/м³; ΔP — насос томонидан ҳосил қиладиган босим фарқи, Па; η — насоснинг фойдали иш коэффиценти.

Иссиқлик алмашилини қурилмаларини лойиҳалашда иссиқлик, конструктив ва гидравлик ҳисоблашлардан сўнг механик ҳисоблашлар амалга оширилади. Қурилмаларни механик ҳисоблаш йўллари тегишли адабиётларда берилган, шу сабабли бу усул устида тўхталмаймиз. Ушбу ҳисоблашлар одатда бир неча вариант бўйича олиб борилади. Бу вариантларнинг қайси бири мақсадга мувофиқ эканлигини аниқлаш учун техникавий-иқтисодий ҳисоблашлар қилинади.

11.14-§. КОНДЕНСАТОРЛАРНИ ҲИСОБЛАШ

Юзали конденсаторни ҳисоблашда бугнинг ҳолатига аҳамият берилади. Одатда конденсациялашга юборилган сув буги икки хил кўринишда бўлади: а) ўта қизиган буг; б) тўйинган буг. Конденсацияланиш пайтида температуранинг ўзгариши 11.34-расмда берилган. Ўта қизиган бугни конденсациялашда иссиқлик алмашилини юзаси (11.34-расм, а) шартли равишда уч соҳага бўлинади: I — ўта қизиган бугнинг совиши; II — бугнинг конденсацияланиши; III — конденсатнинг совиши. Тўйинган бугни конденсациялашда иссиқлик алмашилини юзаси (11.34-расм, б) шартли равишда икки соҳага бўлинади: бугнинг конденсацияланиши; конденсатнинг совиши.



11.34-расм. Конденсациялашда иш — муҳит температурасининг ўзгариши:

а — ўта қизиган бугнинг конденсацияланиши; б — тўйинган бугнинг конденсацияланиши; I — бугнинг совиш соҳаси; II — конденсацияланиш соҳаси; III — конденсатнинг совиш соҳаси.

Тўйинган бугнинг конденсацияланиши доимий температура t_T да юз беради. Ҳар бир зонада иссиқлик ўтказиш коэффициентини ва иссиқликнинг йўқолиши турлича бўлади. Иссиқлик сарфи Q (Вт) ҳар бир соҳа учун алоҳида топилади:

$$Q_{II} = Dr = Wc(t_2 - t_a), \quad (11.38)$$

$$Q_{III} = Dc_1(t_T - T_2) = Wc(t_a - t_1), \quad (11.39)$$

бу ерда D — конденсацияланаётган бугнинг сарфи, кг/с; c_1 — конденсатнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); W — совитувчи сувнинг сарфи, кг/с; c — совитувчи сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); t_1 — конденсацияланиш температураси, °С; T_2 — конденсатнинг совиш температураси, °С; t_1 ва t_2 — совитувчи сувнинг бошланғич ва охири температураси, °С; t_a — сувнинг конденсацияланиш ва совиш шартли чегарасидаги температура, °С.

(11.38) ва (11.39) тенгламалардан қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\frac{t_2 - t_a}{t_a - t_1} = \frac{Q_{II}}{Q_{III}}. \quad (11.40)$$

Ушбу тенгламадан t_a нинг қиймати аниқланади. Сўнгра соҳалар бўйича температуралар фарқи, иссиқлик ўтказиш коэффициенти ва иситиш юзасини аниқлаш имконияти пайдо бўлади:

$$F_{II} = \frac{Q_{II}}{K_{II} \Delta t_{II}}; \quad F_{III} = \frac{Q_{III}}{K_{III} \Delta t_{III}}. \quad (11.41)$$

Конденсаторнинг умумий иссиқлик алмашилиш юзаси:

$$F = F_{II} + F_{III}.$$

Ўта қизиган бугнинг конденсацияланишини кўриб чиқамиз. Мухит қарама-қарши ҳаракат қилганда, агар иситиш девори юзасининг температураси t_d конденсацияланиш температураси t_r дан юқори бўлса, I соҳада ўта қизиган бугнинг фақат совиши юз беради, бунда бугдан деворга бўлган иссиқлик бериш коэффициенти худди газлар каби аниқланади. $t_d = t_r$ бўлганда конденсацияланиш жараёни бошланади.

Биринчи соҳа учун иссиқлик сарфи қуйидагича топилади:

$$Q_1 = D c_6 (T_1 - t_r), \quad (11.42)$$

бу ерда c_6 — ўта қизиган бугнинг ўртача солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг·К). Δt_1 ва K_1 нинг қиймати топилгандан сўнг, I соҳа учун иссиқлик алмашилиш юзаси аниқланади:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}. \quad (11.43)$$

Конденсаторнинг умумий иссиқлик алмашилиш юзаси:

$$F = F_1 + F_{II} + F_{III},$$

бу ерда F_{II} ва F_{III} — бугнинг конденсацияланиш ва конденсаторнинг совиш соҳаларининг юзалари (11.41) тенгламалари орқали аниқланади.

Барометрик конденсаторни ҳисоблашда қуйидагилар аниқланади: 1) совитувчи сувнинг сарфи; 2) конденсаторнинг ўлчами; 3) токчалар сони; 4) барометрик трубалар ўлчами; 5) тортиб олиниши зарур бўлган ҳаво миқдори.

Конденсаторнинг иссиқлик баланси қуйидаги кўринишга эга:

$$D(i - ct_2) = W c_c (t_2 - t_1), \quad (11.44)$$

бу ерда D — буг сарфи, кг/с; W — совитувчи сув сарфи, кг/с; i — бугнинг солиштирма энтальпияси, Ж/кг; c — конденсатнинг солиштирма иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К); t_1 — совитувчи сувнинг температураси, °С; t_2 — барометрик сувнинг температураси, С; c_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сиғими, Ж/(кг·К).

(11.44) тенгламадан совитувчи сувнинг солиштирма сарфини (1 кг бугни конденсациялаш учун сарф бўлган кг ҳисобидаги сувнинг микдори) аниқлаш мумкин:

$$m = \frac{W}{D} = \frac{i - ct_2}{c_d(t_2 - t_1)} \quad (11.45)$$

Одатда $m = 15 \div 60$ кг сув/кг буг. Қабул қилинган m нинг қийматига асосан сувнинг сарфи топилади: $W = mD$.

Барометрик конденсаторнинг ўлчамини ҳисоблаш усули яхши ишлаб чиқилмаган. Шу сабабли конденсаторнинг ўлчами унинг диаметри D_k га қараб топилади. Конденсаторнинг диаметрини ҳисоблаш учун бугнинг тезлигини $W = 35 \div 55$ м/с га тенг деб оламиз. Буг ўтиши учун бўшлиқ юза конденсатор кўндаланг кесими юзасининг 30—37 % ига тенг бўлади.

Токчалар сони одатда 5—7 та олинади. Юқориги токчалар орасидаги масофа $h_{min} = 0,3 D_k$; пастки токчалар орасидаги масофа эса $h_{max} = 0,6 D_k$; ўртача $h_{yp} = 0,4 D_k$ га тенг деб олинади.

Штуцерларнинг диаметри тезликка нисбатан қабул қилинади: буг учун тезлик 40—50 м/с, ҳаво учун 15 м/с, совуқ сув учун 1 м/с. Барометрик трубадаги сувнинг тезлиги 1—2 м/с.

Барометрик конденсаторда бугнинг конденсацияланиши вакуум (ёки сийракланиш) таъсирида боради. Одатда конденсатордаги абсолют босимнинг қиймати 0,1—0,2 ат (вакуум 0,9—0,8 ат) га тенг бўлади. Барометрик трубанинг баландлиги (m) қуйидаги тенглик билан аниқланади:

$$H = h_b + h_d + 0,5 \quad (11.46)$$

бу ерда h_b — конденсатордаги вакуум қийматини (ёки конденсатордаги босим ва атмосфера босими ўртасидаги айирмани) мувозанатда ушлаб туриш учун зарур бўлган барометрик трубадаги сув устуни, м; h_d — барометрик трубада динамик босим ҳосил қилиш учун (яъни суюқликнинг трубадаги ҳаракатини таъминлаш учун) зарур бўлган сув устуни, м; 0,5 м — кўшимча баландлик, бу баландлик босим атмосфера босимидан ортиб кетганда конденсаторнинг буг штуцерига сув кириб кетишининг олдини олиш учун қўшилади.

h_b нинг қиймати (m) қуйидаги нисбат орқали аниқланади:

$$h_b = 10,33 \frac{B}{760}, \quad (11.47)$$

бу ерда B — конденсатордаги сийракланишнинг қиймати, мм симоб устуни.

h_a баландлиги (м) куйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$h_a = \frac{\omega^2}{2g} \left(2,5 + \lambda \frac{H}{d} \right), \quad (11.48)$$

бу ерда ω — суюкликнинг барометрик трубадаги тезлиги, м/с; d — барометрик трубанинг диаметри, м; λ — ишқаланиш коэффициентини.

680 мм симоб устунига тенг вакуумга эришиш учун барометрик трубанинг узунлиги 11 метрга тенг бўлади.

Барометрик трубанинг диаметри куйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$d = \sqrt{\frac{0,004(D+W)}{3,14 \cdot 3600 \cdot \omega}}; \quad (11.49)$$

бу ерда D — конденсацияланаётган буг миқдори, кг/соат; W — сув сарфи, кг/соат; ω — суюкликнинг барометрик трубадаги тезлиги м/с.

Бугнинг таркибида ҳаво борлиги конденсацияланиш жараёнида иссиқлик бериш коэффициентини анчага пасайтиради, натижада курилманинг иш унумдорлиги камаяди. Шу сабабли ҳаво конденсатордан вакуум-насос ёрдамида узлуксиз равишда сўриб турилиши керак. Сўриб олиниши керак бўлган хавонинг ҳажми ($\text{м}^3/\text{с}$) куйидаги тенглама орқали топилади:

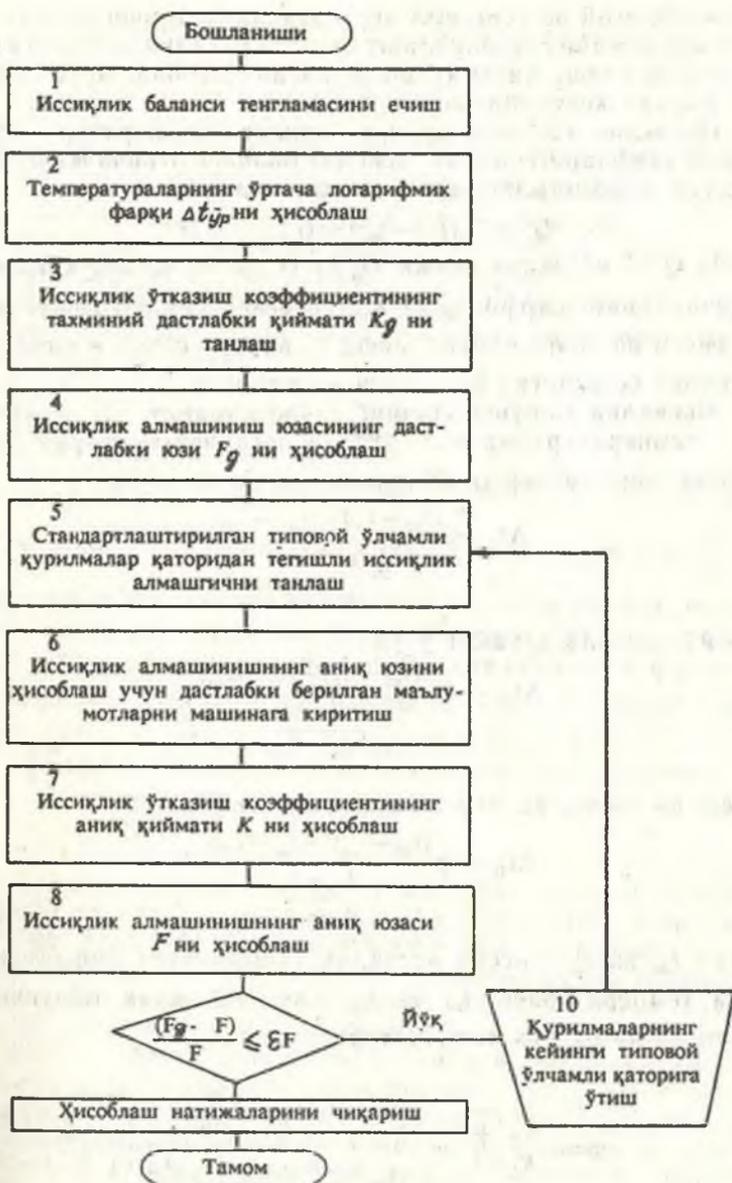
$$V = MD \frac{273+t}{760-B}, \quad (11.50)$$

$M = 0,0688$ — бугдаги газ миқдорини характерловчи коэффициент; t — насосга кираётган ҳаво температураси, одатда $t = 25^\circ\text{C}$; B — конденсатордаги сийракланиш (вакуум), одатда $B = 660 \dots 680$ мм сим. уст.

11.15-§. ҚОБИҚ-ТРУБАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧНИ ЭХМ ЁРДАМИДА ҲИСОБЛАШ

Иссиқлик алмашгични ҳисоблаш одатда маълум бир шароит учун типавий ўлчамли курилмалардан кераклисини танлаш билан кунланади. Бу ҳисоблашлар анъанавий усулда (ҳисоблаш машиналарисиз) олиб борилганда кўп вақт талаб қилинади. Ҳисоблаш ишларида электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилганда зарур бўлган вақт анча камаяди ва иқтисодий жиҳатдан энг тежамли иссиқлик алмашилиш курилмаларини танлашга эришилади. Шу сабабдан иссиқлик алмашилиш курилмаларини ЭХМ ёрдамида ҳисоблаш катта аҳамиятга эга.

Қобик — трубади иссиқлик алмашгични автоматлаштирилган усул билан ҳисоблаш тартибини кўриб чиқамиз. Аввало ҳисоблашнинг мақсади аниқ қилиб олинади. Мисол учун куйидаги мақсадни қабул қиламиз: талаб қилинган миқдордаги иссиқлик ўтказишни



11.35-расм. Қобик — трубаги иссиқлик алмашгични автоматлаштирилган усул билан ҳисоблаш чизмаси.

таъминлайдиган ва минимал иссиқлик алмашиниш юзасига эга бўлган қурилмани стандартлаштирилган типавий ўлчамли қатордан танлаб олиш. Автоматлаштирилган ҳисоблашнинг схемаси 11.35-расмда келтирилган.

1. Иссиқлик ташувчиларнинг берилган температуралари ва уларнинг сарфларига асосан иссиқлик баланси бўйича жараённинг номаълум параметрларидан биттасини ҳисоблаш:

$$Q' = G_u(i_{нб} - i_{но}) = G_c(i_{со} - i_{сб})$$

бу ерда Q' — иссиқлик оқими; G_u ва G_c иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчиларнинг сарфи; $i_{нб}$ ва $i_{но}$ — иссиқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги энталпияси; $i_{сб}$ ва $i_{со}$ — совуқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги энталпияси.

2. Иссиқлик ташувчиларнинг ўзаро ҳаракат қилиш усулига кўра температураларнинг ўртача логарифмик фарқи $\Delta t_{\text{ўр}}$ ни аниқлаш: қарама-қарши йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \frac{(t_{нб} - t_{со}) - (t_{но} - t_{сб})}{\ln \frac{t_{нб} - t_{со}}{t_{но} - t_{сб}}},$$

тўғри йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \frac{(t_{нб} - t_{сб}) - (t_{но} - t_{со})}{\ln \frac{t_{нб} - t_{сб}}{t_{но} - t_{со}}},$$

аралаш ва кесишган йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{ўр}} = \psi \frac{(t_{нб} - t_{со}) - (t_{но} - t_{сб})}{\ln \frac{t_{нб} - t_{со}}{t_{но} - t_{сб}}},$$

бу ерда $t_{нб}$ ва $t_{но}$ — иссиқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги температураси; $t_{сб}$ ва $t_{со}$ совуқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги температураси:

$$\psi = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R_1 - 1} \cdot \frac{\ln \frac{1 - R}{1 - PR}}{\ln \frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}};$$

$$P = \frac{t_{но} - t_{сб}}{t_{нб} - i_{сб}}; \quad R = \frac{t_{нб} - t_{но}}{t_{со} - t_{сб}}.$$

3. Справочникларда берилган маълумотларга асосан иссиқлик ўтказиш коэффициентининг тахминий дастлабки қиймати K_d қабул қилинади.

4. Иссиқлик алмашилининг дастлабки юзасини ҳисоблаш

$$F_d = \frac{Q'}{K_d \Delta t_{sp}}$$

5. F_d нинг қийматига асосан ЭХМ нинг хотирасида жой. қирилган стандартлаштирилган типавий ўлчамли қурилмалар қаторидан тегишли иссиқлик алмашгични танлаш.

6. Аниқ ҳисоблаш учун танланган иссиқлик алмашгичнинг геометрик параметрларини машинага киритиш.

7. Танланган қурилманинг геометрик параметрлари ва ишлаш шароитларини ҳисобга олган ҳолатда иссиқлик ўтказиш коэффициентини K ни ҳисоблаш:

$$K = \left[\frac{A}{\alpha_n} + \sum \Theta + \frac{E}{\alpha_c} \right]^{-1},$$

бу ерда A ва E — коэффициентлар ($A = d_t/d_n$ ва $E = 1$ труба-лардаги иссиқ иссиқлик ташувчи учун; $A = 1$ ва $E = \frac{d_t}{d_n}$ тру-

балараро бўшлиқдаги иссиқ иссиқлик ташувчи учун; d_t ва d_n иссиқлик алмашгич трубагининг ташқи ва ички диаметрлари; α_n — иссиқлик ташувчидан деворга иссиқлик бериш коэффициенти; α_c — девордан совук иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффициенти; $\sum \Theta$ — термик қаршилиқларнинг йиғиндиси.

8. Иссиқлик алмашилининг аниқ юзасини ҳисоблаш

$$F = \frac{Q'}{K \Delta t_{sp}}$$

9. Ҳисобланган иссиқлик алмашили юзасини танланган қурилма юзасига яқинлаштиришнинг берилган шартларини текшириш. Агар берилган яқинлаштириш шартлари бажарилмаса, бундай ҳолатда типавий ўлчамли қурилмаларнинг кейингисига ўтилади. Агар ҳисобланган юзани танлаб олинган қурилма юзасига яқинлаштиришнинг берилган шартлари бажарилса, қуйидаги ҳисоблаш натижалари олинади: иссиқлик ташувчиларнинг ҳаракат схемалари; иссиқлик ташувчиларнинг қурилмага киришдаги ва ундан чиқишдаги параметрлари (t, i, G); иссиқлик алмашили юзаси ва иссиқлик ўтказиш коэффициенти; қурилманинг асосий конструктив ўлчамлари; трубаларнинг жойланиш схемалари ва бошқалар.

11.15-§. ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ТАНЛАШ

Иссиқлик алмашили қурилмаларини танлаш ва уларни тайёрлашда қуйидаги омиллар ҳисобга олиниши керак: қурилманинг иссиқлик сарфи; жараённинг температура шартлари; иш

мухитининг физик-кимёвий параметрлари; иссиқлик алмаши-
нишининг тури; гидравлик қаршиликларнинг характери; матери-
алнинг тури ва унинг коррозияга бардошлиги; қурилма тузилиши-
нинг соддалиги ва ихчамлиги; иш мухити ҳаракатининг ўзаро
йўналиши; иссиқлик алмашилиш юзасини ифлосликлардан тоза-
лаш имконияти; ўтказилган иссиқлик бирлигига тўғри келадиган
металл сарфи ва бошқа техникавий-иктисодий кўрсаткичлар.

Иссиқлик алмашилиш қурилмаларини тайёрлаш учун турли
металлар (темир, чуян, алюминий) ва уларнинг қотишмалари
ишлатилади. Энг кўп пўлат ишлатилади. Таркибида кам микдорда
углеродни ушлаган пўлатлар яхши қолипланиш хоссасига эга,
бирок қийинлик билан кесилади. Пўлат таркибига легирловчи
элементлар (хром, никел, кремний ва бошқалар) қўшилса, унинг
сифати яхшиланиб, алоҳида хоссаларга эга бўлиб қолади.
Масалан, хром пўлатнинг механик, емирилишга ва коррозияга
бардошлик хоссаларини яхшилайти; никел эса мустаҳкамлиги ва
эгиловчанлигини оширади; кремний қўшилган пўлатнинг ўтга
чидамлилиги кучаяди.

Легирловчи элементлар куйидаги ҳарфлар билан белгиланади:
Х — хром, Н — никел, М — молибден, Г — марганец, С — крем-
ний, Т — титан, Д — мис, Ю — алюминий, Масалан, Х18Н12М2Т
маркада пўлатнинг таркибида куйидаги элементлар бор (%
хисобида): углерод — 0,1 дан кам; хром — 18; никел — 12;
молибден — 2; титан — 1 дан кам.

Оддий пўлатлар (масалан Ст. 3) ортиқ босим билан (6 МПа
гача) иш муҳитлари температуралари — 30°C дан +425°C
бўлганда иссиқлик алмашилиш қурилмалари тайёрлаш учун
ишлатилади. Анча қийин шарт-шароитлар учун қурилмалар
тайёрлаш мақсадда сифати яхшиланган углеродли пўлатлар
(15К ва 20К маркада) ишлатилади. Иссиқликка чидамлилиги ва
мустаҳкамликни ошириш учун кам легирланган пўлатлар (10Г2С1,
16ГС, 30Х, 40Х) ишлатилади, бундай материаллардан тайёрланган
қурилмаларни иш мухити температуралари — 70° дан +550°C гача
ўзгарган пайтда ишлатилади.

Қурилмаларнинг кислотага бардошлигини ва ўтга чидамлигини
ошириш учун хром-никелли пўлат маркалари (Х18Н10Т, Х18Н9Т)
ишлатилади.

Қобик — трубада иссиқлик алмашгичлар суюқлик ва газсимон
муҳит учун иситгич, конденсатор ва буглатгич сифатида ишлатила-
ди. Иш шароитлари: босим 6,4 МПа гача; температура — 30°C дан
+450°C гача. Умумий мақсадлар учун қобик-трубада иссиқлик
алмашгичлар углеродли ва зангламайдиган пўлатдан тайёрлана-
ди, бундай қурилмаларнинг иссиқлик алмашилиш юзаси 1 дан
2000 м² гача боради. Қобигининг ташқи диаметри 159—426 мм
бўлган қурилмалар стандартлаштирилган трубадан тайёрла-
нади. Қобигининг диаметри 400 мм дан катта бўлган иссиқлик
алмашилиш қурилмалари углеродли ва зангламайдиган пўлат
листларини пайвандлаш йўли билан тайёрланади.

U-симон трубада қобик-трубада иссиқлик алмашгичлар иш

мухитининг температураси — 30°C дан $+450^{\circ}\text{C}$ гача ўзгарганда ва босимнинг қиймати $1,6 \div 6,4$ МПа бўлганда ишлатилади.

«Труба ичида труба» типдаги иссиқлик алмашгичлар кам миқдордаги иссиқлик ташувчилар таъсирида суюқ ва газсимон мухитни иситиш ва совитиш мақсадида қўлланилади.

Намланувчи иссиқлик алмашгичлар агрессив ёки иссиқлик таъсирида бузилувчи суюқликларни совитиш учун ишлатилади. Ботирилган змеевикли иссиқлик алмашгичлар купинча ректификацион колонналарнинг иситувчи элементлари сифатида ҳамда иситгичлар вазифасида ишлатилади.

Пластинали иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан совитгич, иситгич ва конденсаторлар сифатида фойдаланилади. Юзаси $0,2-1,3\text{ м}^2$ ли пластиналардан тайёрланган қурилмалар ($F=3 \div 600 \text{ м}^2$) қуйидаги режимларда ишлаши мумкин: босимнинг қиймати $0,6 \div 1,0$ МПа; мухит температурасининг ўзгариши — 30°C дан $+180^{\circ}\text{C}$ гача.

Қиррали иссиқлик алмашгичлар девор юзасининг иккала томонидаги шароит турлича бўлганда (масалан, трубанинг ичида буг конденсацияланади, трубанинг ташқи юзасидан иситилиши лозим бўлган ҳаво айланиб ўтади) ишлатилади. Одатда трубаларнинг қирралари мис ёки алюминийли юққа листлардан қилинади.

Спиралсимон иссиқлик алмашгичлар суюқлик ва газларни иситиш ёки совитиш учун фойдаланилади. Бундай иссиқлик қурилмаларининг иш режими қуйидагича бўлади: температура-нинг ўзгариши — 20°C дан $+200^{\circ}\text{C}$ гача; ортиқча босимнинг қиймати 1 МПа гача.

Блокли иссиқлик алмашгичлар агрессив суюқликлар, буглар ва газларни иссиқлик таъсирида қайта ишлаш учун ишлатилади. Графитли элементлар (блоклар, трубалар) фенолформальдегид смоласи билан сингдирилган бўлади ёки графитопласт АТМ — I дан тайёрланади. Фенолформальдегид смоласи билан сингдирилган графитли блокларнинг иссиқликка чидамлилиги 130°C дан ошмайди. Бундай блокларнинг иссиқликка чидамлилиги даражасини кучайтириш учун фенолформальдегид смоласи ўрнига кремний-органик смолалар ишлатилади.

Шнекли иссиқлик алмашиниш қурилмалари иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган материаллар (масалан, қовушоқлиги катта бўлган суюқликлар)ни иситиш ёки совитиш учун ишлатилади.

Аралаштирувчи конденсаторлар буг билан совитувчи сувинг аралашиб кетиши мумкин бўлган шароитда, яъни конденсат алоҳида аҳамиятга эга бўлмасдан, уни совитувчи сув билан бирга канализацияга юбориш имконияти бўлганда қўлланилади.

Ботирилган горелкали қурилмалар ёниш маҳсулотлари ёки иссиқ газларни суюқликлар билан тўғридан-тўғри контакт қилиши орқали иссиқлик алмашинишига асосланган. Горелкали қурилмалар кислоталар ва минерал тузларнинг агрессив эритмаларини ва бошқа ифлосланган суюқликларни буглатиш учун ишлатилади.

Регенератив иссиқлик алмашгич фақат иссиқлик ташувчи агентларнинг температуралари жуда юқори (200—1000°С) бўлганда ишлатилади.

ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

11. 1. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ишлатилиш соҳаси ва унинг турлари. Саноатда қайси турдаги қурилмалар кенг тарқалган?
11. 2. Иссиқлик алмашгичларни танлашнинг асосий принциплари нималардан иборат?
11. 3. Нима учун кимё ишлаб чиқаришларида асосан қобиқ-трубали иссиқлик алмашгич ишлатилади?
11. 4. Трубали иссиқлик алмашгичнинг бошқа қандай турлари мавжуд? Улардан қандай шароитларда фойдаланиш мумкин?
11. 5. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашгичнинг афзалликлари нимада? Бундай қурилмалар қандай режимда самарали ишлайди?
11. 6. Филофли ва ботирилган горелкали иссиқлик алмашгичлардан қандай мақсадларда фойдаланилади?
11. 7. Графит ёрдамида қандай иссиқлик алмашиниш қурилмаларини тайёрлаш мумкин? Уларнинг афзалликлари нимадан иборат?
11. 8. Ҳаво билан совитиладиган қурилмаларнинг тузилиши. Нима учун бундай иссиқлик алмашгичлар истиқболли қурилмалар қаторига киради?
11. 9. Конденсаторлар қандай мақсадлар учун ишлатилади? Улар неча турга бўлинади?
- 11.10. Регенератив ва мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичларнинг тузилиши. Бундай қурилмалар қандай шароитларда ишлатилади?
- 11.11. Трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг ишини тезлаштиришдан кўзлаган мақсад нималардан иборат? Тезлаштиришнинг қандай усуллари мавжуд?
- 11.12. Ҳозирда мутахассислар томонидан иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг қандай истиқболли конструкциялари таклиф этилган?
- 11.13. Иссиқлик алмашгичларни ҳисоблаш қайси тартибда олиб борилади? Қурилмаларни иссиқлик ҳисобидан кўзлаган мақсад нималардан иборат?
- 11.14. Иссиқлик қурилмаларини конструктив ҳисоблашда қайси параметрлар аниқланади?
- 11.15. Қурилмаларни гидравлик ҳисоблаш қайси тартибда олиб борилади?
- 11.16. Юзали ва барометрик конденсаторларни ҳисоблаш тартиби. Бу ҳисоблашларда қандай умумийлик ва фарқ бор?
- 11.17. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ЭҲМ ёрдамида ҳисоблаш қандай тартибда олиб борилади?

12-б о б. БУҒЛАТИШ

12.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Учувчан бўлмаган моддалар эритмаларини унинг таркибидаги эритувчини қайнатиш пайтида чиқариб юбориш йўли билан қуюқлаштириш жараёни *буғлатиш* деб юритилади. Агар буғланиш жараёни қайнаш температурасидан паст температурада су-уқликнинг юзасида рўй берса, буғлатиш жараёнида эса буғ эритманинг бутун ҳажмидан ажралиб чиқади.

Кимё саноатида ишқор, туз ва бошқа моддаларнинг сувли эритмалари, айрим минерал ва органик кислоталар, кўп атомли спиртлар ҳамда шу каби бир қатор суюқ эритмалар буғлатилади. Баъзан буғлатиш ёрдамида тоза эритувчилар ҳам олинади. Айрим

шароитларда қуюқлаштирилган эритма кристалланиш жараёнини амалга ошириш учун махсус буглатиш қурилмаларига юборилади.

Қуюқлаштирилган эритмалар ва буглатиш натижасида ҳосил бўлган каттиқ моддаларни осон ҳамда арзон қайта ишлаш, сақлаш ва бошқа жойларга жўнатиш мумкин.

Буглатиш жараёнида иситувчи агент сифатида асосан сув буги ишлатилади, бундай буг *бирламчи буг* деб юритилади. Қайнаётган эритмани буглатиш пайтида ҳосил бўлган буг иккиламчи буг деб аталади. Эритмани буглатиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори девор орқали берилади. Фақат айрим ҳолларда эритмани қуюлтириш учун керак бўлган иссиқлик тутун газлари ёки бошқа газсимон иссиқлик ташувчи агентларнинг суюқлик билан ўзаро контакти орқали берилади.

Буглатиш жараёни вакуум остида, атмосфера ва юқори босимда олиб борилиши мумкин. Эритмаларнинг хоссалари ва иккиламчи бугнинг иссиқлигидан фойдаланиш заруратига кўра ҳар хил босим ишлатилади.

Вакуум остида буглатиш қатор афзалликларга эга: жараёни анча паст температурада олиб бориш мумкин, бу ҳол айниқса юқори температурада парчаланиб кетиши мумкин бўлган моддалар эритмаларини қуюқлаштиришда жуда қўл келади. Бундан ташқари, вакуум таъсирида иситувчи агент ва эритма температураси ўртасидаги фойдали фарқ кўпаяди, бу эса қурилманинг иситиш юзасини камайтиришга олиб келади, вакуум билан буглатиш учун нисбатан паст параметрли (температура ва босим) иситувчи агентдан фойдаланиш мумкин. Вакуум ишлатилганда иккиламчи бугдан қайтадан бирламчи буг сифатида фойдаланиш имкони туғилади.

Вакуум остида буглатиш камчиликлардан холи эмас: вакуумни ишлатиш буглатиш қурилмасининг нархини оширади; вакуум ҳосил қилиш учун конденсатор, томчи ушлагич ва вакуум-насослар керак бўлади, бундан ташқари, қурилмани ишлатиш учун зарур бўлган сарф ҳам кўпаяди.

Атмосфера босимидан юқори бўлган босимда буглатишда ҳосил бўлган иккиламчи бугдан қайтадан буглатиш жараёнида ҳамда буглатиш билан боғлиқ бўлмаган бошқа мақсадларда фойдаланиш мумкин. Бошқа мақсадлар учун ажратилган иккиламчи буг *экстра-буг* деб аталади. Юқори босим билан буглатиш жараёнида экстра-бугни ажратиб олиб ишлатиш вакуум ёрдамида буглатишга нисбатан иссиқликдан тўлароқ фойдаланиш имконини беради. Юқори босим билан буглатиш эритманинг қайнаш температурасининг ортишига олиб келади. Бундан ташқари, юқори босим билан буглатишни амалга ошириш учун юқори температурали иситувчи агент керак бўлади. Шу сабабли бу усул юқори температурага чидамли моддаларнинг эритмаларини қуюлтиришда ишлатилади. Атмосфера босими билан буглатишда иккиламчи буг ишлатилмайди, у атмосферага чиқариб юборилади. Бундай усул энг оддий, аммо иқтисодий жиҳатдан энг тежамсиз ҳисобланади.

Буглатиш жараёни кимё ва озиқ-овқат саноатида кенг ишлатилади. Бу жараёндан эритмаларни қуйилтириш ва эритмалардан эриган ҳолдаги моддаларни ажратиб олишдан ташқари, тоза эритувчилар олиш, совуқ ҳосил қилиш техникасида фойдаланилади.

Саноатда буглатиш жараёни бир ва кўп аппаратли қурилмаларда амалга оширилади. Асосан кўп аппаратли, яъни бир неча аппаратлардан ташкил топган буглатиш қурилмалари ишлатилади. Кўп аппаратли қурилмаларнинг фақат биринчи аппаратига иситувчи (бирламчи) буг берилади, кейинги аппаратларни иситиш учун эса олдинги аппаратлардан чиққан иккиламчи буг ишлатилади. Натижада иситувчи бугнинг умумий сарфи камаяди.

Ишлаш режимига кўра буглатиш қурилмалари даврий ва узлуксиз бўлади. Қичик масштабдаги ишлаб чиқаришларда ва айрим вақтда, эритмаларни юқори концентрацияларгача буглатишда даврий ишлайдиган буглатиш қурилмалари ишлатилади. Кимё саноатида асосан узлуксиз ишлайдиган буглатиш қурилмалари ишлатилади. Замонавий буглатиш қурилмалари анча катта иситиш юзасига эга, баъзан битта аппаратнинг иситиш юзаси 2500 м² дан ортиб кетади.

12.2-§. БИТТА АППАРАТЛИ БУГЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИ

Аппаратнинг ишлаш принципи. Марказий циркуляция трубаСИ бўлган узлуксиз ишлайдиган буглатиш аппаратининг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (12.1-расм). Аппарат асосан иситиш камераси ва сепаратордан иборат. 12.1-расмда тасвирланган схемада иситиш камераси ва сепаратор битта аппаратда жойлашган. Иситиш камераси сепаратордан алоҳида жойлашган бўлиши ҳам мумкин. Бунда иситиш камераси ва сепаратор труба орқали бирлашган бўлади. Камера одатда тўйинган сув буги билан иситилади. Буг трубалар ташқарисидаги бўшлиққа киради, бу ерда конденсацияланиш жараёни юз беради ва ажралиб чиққан иссиқлик труба деворлари орқали эритмага берилади. Ҳосил бўлган конденсат камеранинг пастки қисмида жойлашган патрубкка орқали ташқарига чиқарилади.

Буглатилаётган эритма иситиш трубалари орқали юқорига кўтарилади, бунда эритма қайнайди, натижада иккиламчи буг ҳосил бўлади. Сепараторда буг суюқликдан ажратилади. Суюқлик томчиларидан ажралган иккиламчи буг сепараторнинг юқориги қисмидан ташқарига чиқарилади. Суюқликнинг бир қисми марказий циркуляция трубаСИ орқали аппаратнинг пастки қисмига тушади. Марказий трубадаги суюқлик эритма ва иситиш трубалари ичидаги буг — суюқлик эмульсияСИ зичликлари ўртасидаги фарқ таъсирида узлуксиз равишда циркуляция бўлиб туради. Қуюқлаштирилган эритма аппаратнинг пастки қисмида жойлашган патрубкка орқали ташқарига чиқарилади.

Айрим буглатиш аппаратларида марказий циркуляция трубаСИ бўлмайди. Буглатиш жараёни вакуум остида олиб борилса,

иккиламчи буг вакуум-насос ёрдамида конденсаторга сўриб турилади.

Моддий баланс. 12.1-расмга асосан b_6 (1% ҳисобидаги массавий) концентрацияли ва кг/с ҳисобидаги G_6 микдорли дастлабки эритма буглатиш аппаратига киради, қуюқлаштирилган эритманинг микдори G_k (кг/с), унинг охириги концентрацияси эса v_k (%) га тенг. Агар аппаратдан чиқарилаётган эритувчи (иккиламчи буг)нинг микдори W (кг/с) бўлса, у ҳолда аппаратнинг моддий баланси қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$G_6 = G_k + W. \quad (12.1)$$

Эритма таркибида бўлган қуруқ моддага нисбатан моддий баланс қуйидагича ёзилади:

$$\frac{G_6 v_6}{100} = \frac{G_k v_k}{100}. \quad (12.2)$$

Амалий ҳисоблашларда дастлабки эритма сарфи G_6 нинг концентрацияси v_6 ва қуюқлашган эритманинг керакли қонцентрацияси v_k берилган бўлади. Бунда (12.1) ва (12.2) тенгламалар орқали аппаратнинг иш унуми топилади.

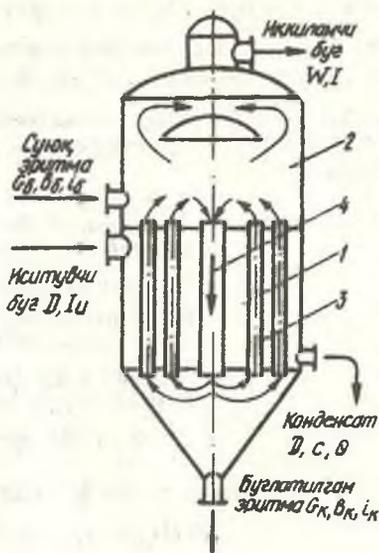
Қуюқлаштирилган эритма бўйича:

$$G_k = \frac{G_6 v_6}{v_k}. \quad (12.3)$$

Буглатилаётган сув бўйича:

$$W = G_6 - G_k = G_6 \left(1 - \frac{v_6}{v_k}\right). \quad (12.4)$$

Иссиқлик баланси. Қуйидаги белгиларни қабул қиламиз: D — иситувчи бугнинг сарфи; J_u — унинг энтальпияси; J — иккиламчи бугнинг энтальпияси; $i_6 = c_6 t_6$ — дастлабки эритманинг энтальпияси; $i_k = c_k t_k$ — қуюқлашган эритманинг энтальпияси; $i = c'\theta$ —



12.1-расм. Марказий циркуляция трубаи булган буглатиш қурилмаси.

1 — иситиш камераси; 2 — сепаратор; 3 — иситиш трубалари; 4 — циркуляция трубаи.

иситувчи буг конденсатининг энтальпияси; c_6, c_k, c' — дастлабки ва қуюклашган эритма ҳамда конденсатнинг ўртача солиштирма иссиқлик сифимлари; t_6, t_k, θ — дастлабки ва қуюклашган эритма ҳамда иситувчи буг конденсатининг температуралари.

Иссиқликнинг кириши ва унинг сарфланиши қуйидагича бўлади:

Иссиқликнинг кириши
 Дастлабки эритма билан ... $G_6 i_6$
 Иситувчи буг билан ... $D J_n$
 Иссиқликнинг сарфланиши
 Қуюклашган эритма билан ... $G_k i_k$
 Иккиламчи буг билан ... WJ
 Қуюклаштириш иссиқлиги ... $Q_{\text{конц}}$
 Атроф мухитга йўқотилган иссиқлик ... $Q_{\text{й}}$

Иссиқлик баланси қуйидагича ифодаланеди:

$$G_6 i_6 + DJ_n = G_k i_k + WJ + Di' + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{й}} \quad (12.5)$$

Дастлабки эритма қуюклашган эритма ва буглатилиши лозим бўлган сув аралашмасидан иборат ҳамда дастлабки эритманинг иссиқлик сифими температураси t_6 билан t_k интервалда ўзгармай қолади деб оламиз. Бунда қуйидаги иссиқлик балансини ёзиш мумкин:

$$G_6 c_6 t_k = G_k c_k t_k + Wc''t_k \quad (12.6)$$

бу ерда c'' — температура 0°C дан t_k гача ўзгарган пайтдаги сувнинг ўртача иссиқлик сифими.

t_k, i_k, i' ва G_k, c_k нинг қийматини (12.5) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$G_6 c_6 t_6 + DJ_n = G_6 c_6 t_k - Wc''t_k + WJ + Dc'\theta + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{й}}$$

Бу тенгламадан буглатиш аппаратига вақт бирлиги ичида иситувчи буг билан киритилган иссиқлик миқдорини аниқлаймиз:

$$Q = D(J_n - c'\theta) = G_6 c_6(t_k - t_6) + W(J - c''t_k) + Q_{\text{конц}} + Q_{\text{й}} \quad (12.7)$$

(12.7) тенгламанинг ўнг томонидаги биринчи қисми дастлабки эритмани қайнаш температурасигача иситиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдорини, иккинчи қисми эса эритмадан сувнинг бугланиши учун сарф бўлган иссиқлик миқдорини белгилайди.

Эритмани қуюклаштириш пайтидаги иссиқлик эффекти $Q_{\text{конц}}$ билан ифодаланеди. Қуюклаштириш жараёнида иссиқликнинг ютилиши ёки чиқиши содир бўлади. Шунга кўра $Q_{\text{конц}}$ нинг миқдори иссиқлик балансининг кириш ёки сарфланиш қисмлари

орқали ўз ифодасини топади. Агар $Q_{\text{конц.}}$ нинг миқдори анча катта бўлса, у ҳисобга олинади, кам бўлса ҳисобга олинмайди.

Иссиқликнинг атроф муҳитда йўқотилиши Q_a одатда Q нинг $3 \div 5\%$ ини ташкил қилади. Q_a нинг миқдори ортиб кетмаслиги учун буглатиш аппаратлари тегишли қалинликдаги изоляция қатлами билан қопланади.

(12.7) тенгламага асосан иситувчи бугнинг сарфини топиш мумкин:

$$D = \frac{G_0 t_0(t_k - t_0) + W(J - c''t_k) + Q_{\text{конц.}} + Q_a}{J_n - c'\theta} \quad (12.8)$$

Агар эритма аввал қайнаш температурасигача иситилиб, сўнгра буглатиш аппаратига берилса, $t_0 = t_k$ бўлади. $Q_{\text{конц.}}$ ва Q_a нинг миқдори ҳисобга олинмаса, (12.8) тенглама ёрдамида 1 кг сувни буглатиш учун керак бўлган иситувчи бугнинг назарий сарфини топиш мумкин:

$$D = \frac{W(J - c''t_k)}{J_n - c'\theta} = \frac{Wr}{r} \approx W, \quad (12.9)$$

бу ерда $J_n - c'\theta = r'$ — иситувчи бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги; $J - c''t_k = r$ — қайнаб турган эритмалардан сувнинг бугланиш иссиқлиги (тахминан $r = r'$ деб олинаши мумкин).

(12.9) тенгламага қўра, битта аппаратли буглатиш қурилмасида 1 кг сувни буглатиш учун 1 кг иситувчи буг сарф бўлади. Амалда (атроф муҳитга йўқотилган иссиқликни ҳисобга олинган тақдирда) 1 кг сувни буглатиш учун кўпроқ иситувчи буг сарф бўлади (1,1—1,2 кг).

Иситиш юзаси. Узлуксиз ишлайдиган буглатиш аппаратининг иситиш юзаси иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t}, \quad (12.10)$$

бу ерда Q — иссиқлик сарфи; K — иссиқлик ўтказиш коэффициенти; Δt — температураларнинг фойдали фарқи (жараённинг харакатлантирувчи кучи).

Иссиқлик ўтказиш коэффициенти концентрациянинг ортиши (яъни қовушоқликнинг кўпайиши) билан ҳамда эритма қайнаш температурасининг пасайиши билан камаяди. Буглатиш аппаратидаги температураларнинг фойдали фарқи Δt иситувчи бугнинг конденсацияланиши ва буглатилаётган эритманинг қайнаш температуралари (T, t_k)нинг айирмасига тенг:

$$\Delta t = T - t_k \quad (12.11)$$

Температуранинг йўқотилиши. Буглатиш аппаратларида температуранинг йўқотилиши юз беради, бу хол ўз навбатида иситувчи буг ва буглатилаётган эритма температуралари ўртасидаги фарқнинг камайишига олиб келади. Температуранинг йўқотилиши Δ температура депрессияси Δ' , гидростатик депрессия Δ'' ва гидравлик депрессия Δ''' лардан иборат.

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$$

Температура депрессияси деб бир хил босимда олинган эритма қайнаш температураси билан тоза эритувчи қайнаш температураси ўртасидаги фарққа айтилади. Δ' нинг қиймати эриган модда ва эритувчининг физик-кимёвий хоссалари, эритма концентрацияси ва босимга боғлиқ. Тажриба йўли билан олинган Δ' нинг қиймати махсус справочник адабиётларда берилади.

Температура депрессиясининг қиймати одатда атмосфера босимида топилган бўлади. Бошқа босимлардаги суюлтирилган эритма учун Δ' нинг қийматини *И. А. Тищенко тенгламаси* орқали топиш мумкин:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \frac{T^2}{r} \Delta'_{\text{атм}}, \quad (12.12)$$

бу ерда $\Delta'_{\text{атм}}$ — атмосфера босимидаги температура депрессияси $^{\circ}\text{C}$; T — тоза эритувчининг берилган босимдаги қайнаш температураси; K ; r — тоза эритувчининг берилган босимдаги бугланиш иссиқлиги, кЖ/кг.

Буглатиш аппаратидаги иситиш трубаларининг пастки бир қисми суюқлик билан тўлган бўлади. Суюқликнинг устида эса буг-суюқлик эмульсияси жойлашади. Трубаларнинг юқориги қисмига кўтарилган сари эмульсия таркибида бугнинг миқдори кўпайиб боради. Шартли равишда иситиш трубаларининг ичида суюқлик жойлашган деб олсак, бунда трубадаги гидростатик босим таъсирида, суюқликнинг пастки қатламларида қайнаш температураси юқориги қатламлардагига нисбатан катта бўлади. Гидростатик эффект таъсирида эритма қайнаш температурасининг ортиш жараёни *гидростатик депрессия* деб аталади.

Вакуум билан ишлайдиган буглатиш аппаратларида гидростатик депрессия анча катта қийматга эга бўлади. Гидростатик депрессиянинг қийматини аниқ ҳисоблаш қийин, чунки Δ'' иситиш трубаларининг деярли катта қисмини эгаллаган буг-суюқлик эмульсиясининг циркуляция тезлигига ва унинг ўзгарувчи зичлигига боғлиқ. Шу сабабдан Δ'' нинг қиймати тажриба натижаларидан олинади. Эритма циркуляция қилинадиган вертикал аппаратлар учун Δ'' нинг қийматини $1 \div 3^{\circ}\text{C}$ атрофида олиш мумкин.

Иккиламчи буг сепаратор қурилмалари ва трубопровод орқали ҳаракатланганда ўз йўлида гидравлик қаршиликлар (ишқаланиш ва маҳаллий қаршиликлар)ни енгади. Натижада иккиламчи буг

босими камаяди, бу ўз навбатида унинг тўйиниш температурасининг қисман камайишига олиб келади.

Гидравлик қаршилиқ таъсирида эритма температурасининг ортиш жараёни *гидравлик депрессия* деб юритилади. Δ''' нинг қиймати одатда $0,5 \div 1,5^\circ\text{C}$ интервалда бўлади. Битта аппарат учун Δ'' нинг қийматини 1°C га тенг деб олиш мумкин.

Шундай қилиб, температура ва гидростатик депрессияни ҳисобга олган ҳолда эритманинг қайнаш температурасининг қуйидагича аниқлаш мумкин:

$$t_k = T' + \Delta' + \Delta'' \quad (12.13)$$

бу ерда T' — иккиламчи буг температураси.

12.3-§. КЎП АППАРАТЛИ БУҒЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИ

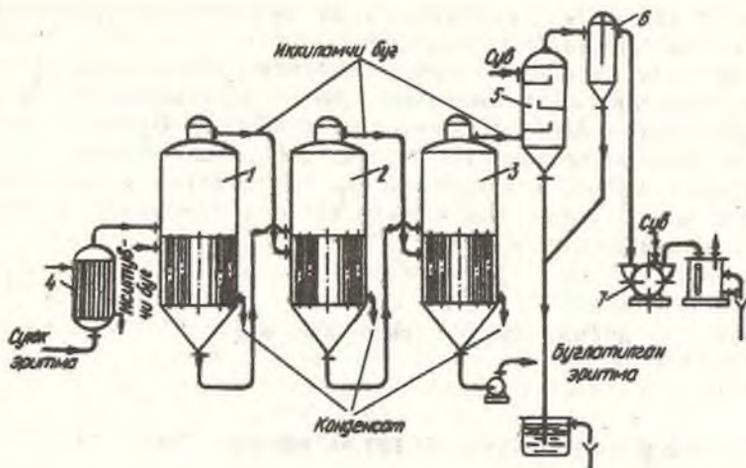
Саноатда эритмаларни қуюқлаштириш учун кўп аппаратли буглатиш қурилмалари кенг ишлатилади. Бундай қурилмалар иситувчи бугнинг иссиқлигидан бир неча бор фойдаланишга асосланган. Бунда биринчи аппаратга иситувчи буг берилса, иккинчи аппаратни иситиш учун биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади, учинчи аппаратни иситиш учун эса иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади ва ҳоказо. Охириги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг конденсаторга юборилади. Кўп аппаратли буглатиш қурилмаларида иситувчи бугнинг ҳақиқий сарфи 12.1-жадвалда берилган.

12.1-жадвал

Аппаратлар сони	1	2	3	4	5
1 кг сувни буглатиш учун бугнинг сарфи, кг	1,1	0,57	0,4	0,3	0,27

Жадвалдан кўриниб турибдики, аппаратларнинг сони кўпайиши билан 1 кг сувни буглатиш учун зарур бўлган иситувчи бугнинг сарфи камайиб боради. Агар бир аппаратли қурилмадан икки аппаратли қурилмага ўтишда бугнинг сарфи тахминан 50 % га камайса, тўрт аппаратли қурилмадан беш аппаратли қурилмага ўтишда бугнинг сарфи фақат 10 % га камаяди. Демак, маълум бир аниқ шароит учун аппаратларнинг оптимал (энг мақбул) сони топилиши зарур.

Кўп аппаратли қурилмалар схемалари. Охириги аппаратдаги иккиламчи бугнинг босимиға кўра, кўп аппаратли буглатиш қурилмалари вакуум (сийракланиш) билан ва юқори босим остида ишлайдиган бўлади. Иситувчи буг ва бугланаётган эритма оқимларининг ўзаро ҳаракатига кўра кўп аппаратли буглатиш қурилмалари бир неча схемаларга бўлинади:



12.2- расм. Бир хил йўналишли учта қурилмадан иборат буглатиш қурилмаси:

1, 2, 3 — буглатиш қурилмалари; 4 — иситкич; 5 — барометрик конденсатор; 6 — томчи ушлағи; 7 — вакуум-насос.

- 1) бир хил йўналишли кўп аппаратли буглатиш қурилмалари;
- 2) қарама-қарши йўналишли кўп аппаратли буглатиш қурилмалари;
- 3) эритма билан узлуксиз параллел таъминланадиган буглатиш қурилмалари;
- 4) мураккаб схемалар;
- 5) экстра-буг ажратиб олинадиган кўп аппаратли буглатиш қурилмалари.

Саноатда асосан бир хил йўналишли қурилмалар ишлатилади. (12.2- расм), чунки булар энг тежамли ҳисобланади. Бундай қурилмаларда кичик параметрли сув бугидан фойдаланиш мумкин. Айрим вақтда қурилманинг биринчи апаратини иситиш учун буг турбиналарида ишлатилиб бўлинган сув бугида фойдаланса бўлади.

Бир хил йўналишли қурилма бир неча аппаратдан (бизнинг мисолимизда учта) ташкил топган. Иситкичда қайнаш температурасигача қиздирилган дастлабки эритма қурилманинг биринчи апаратига берилади. Биринчи аппарат бирламчи буг билан иситилади. Биринчи аппаратда ҳосил бўлган иккиламчи буг иситувчи агент сифатида иккинчи аппаратга берилади. Иккинчи аппаратдаги босим биринчи аппаратдагига нисбатан паст, натижада иккинчи аппаратда эритма биринчи аппаратдагига нисбатан анча паст температурада қайнайди.

Иккинчи аппаратда босим анча паст бўлганлиги сабабли, биринчи аппаратда қисман бугланган эритма ўз-ўзидан иккинчи аппаратга ўтади ва эритма иккинчи аппаратда қайнаш температурасигача совийди. Бунда исиклик ажралиб чиқади; натижада

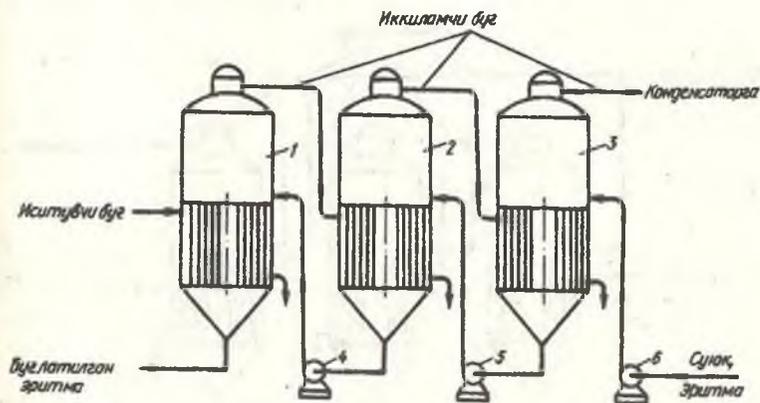
маълум миқдорда қўшимча иккиламчи буг ҳосил бўлади. Қурилманинг ҳамма аппаратларида (биринчидан ташқари) юз берадиган бу ҳол эритманинг *ўз-ўзидан бугланиши* деб юритилади.

Иккинчи аппаратда буглатилган эритма учинчи аппаратга ўз-ўзича ўтади. Учинчи аппаратни иситиш учун иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади. Охириги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг барометрик конденсаторга узатилади. Бу ерда бугнинг конденсацияланиши натижасида тегишли сийракланиш (вакуум) ҳосил қилинади. Ҳаво ва конденсацияланмай қолган газлар иссиқлик алмашилиш жараёнини сусайтиради. Шу сабабли совитувчи агент (сув) билан, аппаратларнинг зичмас жойлари орқали кириб қолган газлар томчи ушлағич орқали вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Конденсатордаги қолдиқ босимнинг қиймати сув температура-сининг ўзгариши билан ўзгаради. Шу сабабли вакуум-насос ёрдамида қурилмада тегишли қийматдаги вакуумни сақлаб туриш мумкин.

Бир хил йўналишли буглатиш қурилмасининг асосий афзаллиги шундаки, эритмани бир аппаратдан иккинчисига ўтказиш учун иссиқ оқимда ишлашга мосланган насослар ишлатиш талаб қилинмайди. Ҳар бир кейинги аппаратда олдингисига нисбатан юқори концентрацияли эритмани пастроқ босимда буглатишга тўғри келади. Шунинг учун охириги аппаратдаги иссиқлик ўтказиш коэффиценти биринчи аппаратдагига нисбатан бир неча марта кичик бўлади. Бу ҳол бир хил йўналишли қурилмаларнинг камчилигидир.

Қарама-қарши йўналишли кўп аппаратли буглатиш қурилмаларида (12.3- расм) иситувчи буг ва буглатилаётган эритма бир аппаратдан иккинчисига ўтишида ўзаро қарама-қарши томонга



12.3- расм. Қарама-қарши йўналишли учта аппаратдан иборат буглатиш қурилмаси:

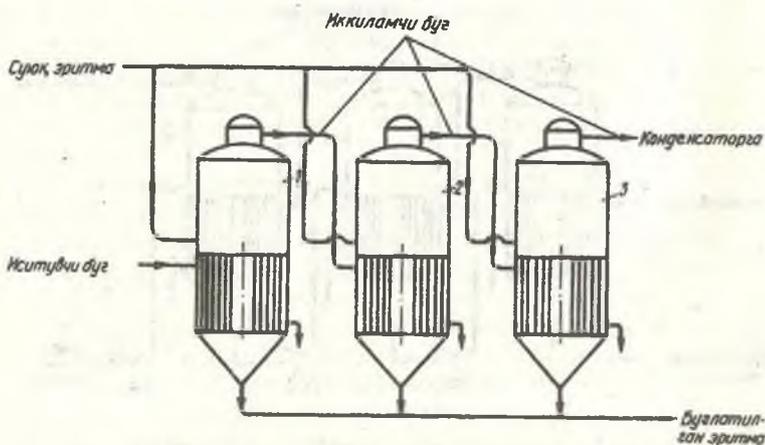
1, 2, 3 — буглатиш аппаратлари; 4, 5, 6 — насослар.

харакатланади. Агар дастлабки эритма учинчи аппаратга берилса, бирламчи иситувчи буг биринчи аппаратга берилади. Биринчи аппаратда ҳосил бўлган иккиламчи буг иккинчи аппаратда иситувчи агент сифатида ишлатилади ва ҳоказо. Учинчи аппаратда қисман қуюқлаштирилган эритма иккинчи аппаратга насос ёрдамида ўтказилади, сўнгра иккинчи аппаратдан биринчисига яна насос ёрдамида ҳайдалади. Қуюқлаштирилган эритма биринчи аппаратдан олинади, охириги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг эса конденсаторга берилади.

Қарама-қарши йўналишли қурилмалар эритмаларни жуда катта концентрацияларгача буглатишда ва қуюқлаштириш жараёнида қовушоклиги ортиб кетадиган эритмаларни буглатишда ишлатилади. Бундай қурилмаларнинг асосий афзаллиги шундаки, улар бир хил йўналишли қурилмаларга нисбатан кичик иситиш юзасини талаб қилади. **К а м ч и л и г и**: қурилманинг ишлаши учун иссиқлик оқимига мўлжалланган насослар керак.

Параллел таъминланиш режими билан ишлайдиган қурилмаларда (12.4- расм) дастлабки эритма бир вақтнинг ўзида ҳамма аппаратларга берилади. Ҳар бир аппаратдан чиқаётган қуюқлаштирилган эритма бир хил концентрацияга эга бўлади. Иситувчи буг фақат биринчи аппаратга берилади, қолган аппаратларда иситувчи агент сифатида олдинги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади. Охириги қурилмадан чиқаётган иккиламчи буг конденсаторга юборилади. Бундай схемалар асосан таркибида каттиқ фаза заррачалари тутган тўйинган эритмаларни буглатишда ҳамда эритмаларни юқори концентрацияларгача қуюқлаштириш талаб қилинмаган шароитларда ишлатилади.

Мураккаб схемаларда эритмани қурилмага киритиш ва уни силжитишнинг турли вариантлари ишлатилади. Масалан, эритма-



12.4- расм. Параллел таъминлаш режими билан ишлайдиган учта аппаратли (1, 2, 3) буглатиш қурилмаси.

ни ҳар бир аппаратга алоҳида-алоҳида киритиш ёки эритмани иккинчи аппаратга киритиб сўнгра уни учинчи аппаратга бериш ҳамда қуюқлаштирилган эритмани биринчи аппаратдан олиш ва бошқа шу каби схемалардан фойдаланиш мумкин. Бундай мураккаб схемалар махсус шароитлар талаб қилингандагина ишлатилади.

Моддий баланс. Бир аппаратли буглатиш қурилмасининг моддий баланс тенгламаси (12.4) га асосан кўп аппаратли буглатиш қурилмасининг моддий балансини тузиш мумкин:

$$W = G_6 \left(1 - \frac{\sigma_6}{\sigma_k} \right), \quad (12.14)$$

бу ерда W — ҳамма аппаратларда бугланган сувнинг умумий миқдори; G_6 — дастлабки эритма сарфи; σ_6 — дастлабки эритманинг концентрацияси; σ_k — охириги аппаратдан чиқаётган қуюқлашган эритманинг концентрацияси.

(12.1) ва (12.2) тенгламаларга асосан кўп аппаратли буглатиш қурилмасининг ҳар бир аппаратидан чиқаётган эритмаларнинг концентрацияларини аниқлаш мумкин.

Биринчи аппарат учун:

$$\sigma_1 = \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1}. \quad (12.15)$$

Иккинчи аппарат учун

$$\sigma_2 = \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1 - W_2}. \quad (12.16)$$

Учинчи аппарат учун:

$$\sigma_3 = \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1 - W_2 - W_3}. \quad (12.17)$$

n — аппарат учун:

$$\sigma_n = \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1 - W_2 - \dots - W_n}. \quad (12.18)$$

Бугланган сувнинг умумий миқдори ҳамма аппаратлардан ажралиб чиққан иккиламчи буглар миқдорининг йигиндисига тенг:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n. \quad (12.19)$$

Иссиқлик баланси. Уч аппаратли бир хил йўналишда ишлайдиган ва «экстра-буг» ажратиб олинadиган вакуум-буглатиш қурилмасининг иссиқлик балансини кўриб чиқамиз. Қурилманинг биринчи аппарати тўйинган сув буғи билан иситилади. Бу бирламчи бугнинг сарфи D (кг / с), унинг энтальпияси J ,

(кЖ / кг), температураси θ ($^{\circ}\text{C}$). Биринчи аппаратдан сўнг E_1 (кг / с) ва иккинчи аппаратдан кейин E_2 (кг / с) микдорда «экстра-буг» ажратиб олинади. Биринчи аппаратдан иккинчи аппаратга иситиш учун берилаётган иккиламчи бугнинг микдори ($W_1 - E_1$) ва иккинчи аппаратдан учинчи аппаратга берилаётган иккиламчи бугнинг микдори эса ($W_2 - E_2$) га тенг, бу ерда W_1 ва W_2 (кг / с) — биринчи ва иккинчи аппаратларда буглатилган сувнинг массаси.

Бир аппаратли буглатиш қурилмасининг иссиқлик баланси тенгламаси (12.7) га асосан кўп аппаратли қурилманинг иссиқлик баланси тенгламалари қуйидаги кўринишга эга бўлади:

Биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = D(J_n - c_1\theta_1) = G_6 c_6(t_{k_1} - t_6) + \\ + W_1(J_1 - c_1'' t_k) + Q_{\text{конц.1}} + Q_{\text{н.1}} \quad (12.20)$$

Иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = (W_1 - E_1)(J_1 - c_2\theta_2) = (G_6 - W_1)c_1(t_{k_2} - t_{k_1}) + \\ + W_2(J_2 - c_2'' t_k) + Q_{\text{конц.2}} + Q_{\text{н.2}} \quad (12.21)$$

Учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = (W_2 - E_2)(J_2 - c_3\theta_3) = (G_6 - W_1 - W_2)c_2(t_{k_3} - t_{k_2}) + \\ + W_3(J_3 - c_3'' t_k) + Q_{\text{конц.3}} + Q_{\text{н.3}} \quad (12.22)$$

бу ерда t_6 , c_6 — дастлабки эритманинг температураси ва ўртача солиштирма иссиқлик сифими; t_{k_1} , t_{k_2} , t_{k_3} — эритманинг аппаратлар бўйича қайнаш температураси; c_1 , c_2 , c_3 — эритманинг аппаратлар бўйича ўртача иссиқлик сифими; Q_1 , Q_2 , Q_3 — иситувчи буг билан вақт бирлиги ичида аппаратларга киритилган иссиқлик микдори; c_1' , c_2' , c_3' — иситувчи буг конденсатининг аппаратлар бўйича ўртача солиштирма иссиқлик сифими; c_1'' , c_2'' , c_3'' — сувнинг ўртача солиштирма иссиқлик сифими (0°C дан аппаратлардаги эритманинг тегишли қайнаш температуралари оралигида); $Q_{\text{конц.1}}$, $Q_{\text{конц.2}}$, $Q_{\text{конц.3}}$ — эритманинг аппаратлар бўйича қуюқлаштириш иссиқликлари; $Q_{\text{н.1}}$, $Q_{\text{н.2}}$, $Q_{\text{н.3}}$ — аппаратлардан иссиқликнинг атроф мухитга йўқотилиши.

Умумий ҳолда n та аппаратли буглатиш қурилмаси учун иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$Q_n = (W_{n-1} - E_{n-1})(J_{n-1} - c_n\theta_1) = \\ = (G_6 - W_1 - W_2 - \dots - W_{n-1}) \cdot c_{n-1}(t_{k_n} - t_{k_{n-1}}) + \\ + W_n(J_n - c_n'' t_k) + Q_{\text{конц.л.}} + Q_{\text{н.л.}} \quad (12.23)$$

Буглатиш қурилмасидаги иситувчи буг ва эритма оқимларининг ҳаракат турига кўра ва бошқа шарт-шароитларга асосан иссиқлик баланси тенгламасини ташкил этувчиларнинг қиймати ўзгариши мумкин. Агар эритма биринчи аппаратга қайнаш температурасигача қиздирилган ҳолда берилса (яъни $t_6 = t_{к1}$), бунда $G_6 c_6(t_{к1} - t_6) = 0$ бўлади. Аппаратлардан атроф муҳитга йўқотилган иссиқлик сарфи Q_1 , Q_2 ва Q_3 ни 3—5 % деб олиш мумкин. Баъзан (масалан, иситувчи буг ва эритма оқимлари бир хил, яъни параллел йўналишда бўлган вакуум-буглатиш аппаратларида) иссиқлик балансининг айрим ташкил этувчилари манфий қийматга эга бўлиши ҳам мумкин.

Иссиқлик баланси тенгламалари ёрдамида кўп аппаратли буглатиш қурилмасининг ҳар бир аппарати учун иссиқлик сарфи ва иситувчи бугнинг керакли миқдори аниқланади.

Температуранинг умумий фойдали фарқи. Моддий оқимлар бир хил йўналишга эга бўлган кўп аппаратли буглатиш қурилмасининг умумий температуралар фарқи Δt_0 биринчи аппаратни иситувчи бирламчи бугнинг температураси T_1 ва конденсаторга тушган иккиламчи бугнинг тўйиниш температураси T' конд. ўртасидаги фарққа тенг:

$$\Delta t_0 = T_1 - T'_{\text{конд.}} \quad (12.24)$$

Кўп аппаратли буглатиш қурилмасидаги температураларнинг умумий фойдали фарқи $\sum \Delta t$ ни аниқлашда аппаратлардаги температуралар йўқотилишининг йиғиндис $\sum \Delta$ ҳисобга олинади:

$$\sum \Delta t = T_1 - T'_{\text{конд.}} - \sum \Delta. \quad (12.25)$$

Қурилмадаги аппаратларнинг оралигида уларнинг ишлаш режимига кўра температуранинг умумий фойдали фарқи тақсимланиши керак. (12.10) тенгламага биноан иссиқлик сарфи Q ва иссиқлик ўтказиш коэффициенти K нинг қиймати берилган тақдирда аппаратнинг иситиш юзаси F температураларнинг фойдали фарқи Δt га боғлиқ бўлади. Масалан, қуюқлашаётган эритма ковшоклигининг ортиши билан иссиқлик ўтказиш коэффициенти K нинг камайишини температураларнинг фойдали фарқи Δt нинг қийматини ошириш йўли билан коплаш мумкин.

Шундай қилиб, буглатиш қурилмаси аппаратларининг иссиқлик сарфи берилганда қурилманинг умумий иситиш юзаси — температураларнинг умумий фойдали фарқининг аппаратлар бўйича тақсимланишига ҳам боғлиқ бўлади. $\sum \Delta t$ нинг қийматини аппаратлар бўйича турли усуллар билан тақсимлаш мумкин.

Аппаратларнинг иситиш юзаси тенг бўлганда $\sum \Delta t$ ни тақсимлаш. Бундай усулдан фойдаланиш бир хил ўлчамли аппаратларни ишлатиш ва ўзаро алмаштириш имконини беради.

Иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламасига кўра қурилмаларидаги температураларнинг фойдали фарқи куйидаги ифодалар билан топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1}{K_1} \cdot \frac{1}{F_1}; \quad (12.26)$$

$$\Delta t_2 = \frac{Q_2}{K_2} \cdot \frac{1}{F_2}; \quad (12.27)$$

$$\Delta t_3 = \frac{Q_3}{K_3} \cdot \frac{1}{F_3}; \quad (12.28)$$

$$\Delta t_n = \frac{Q_n}{K_n} \cdot \frac{1}{F_n}; \quad (12.29)$$

Қабул қилинган шартга асосан $F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_n$. $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ нинг ўрнига F ни ишлатиб ҳамда (12.26) — (12.28) ифодаларнинг ўнг ва чап томонларини қўшиб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} \sum \Delta t &= \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n = \\ &= \frac{1}{F} \left(\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} + \frac{Q_3}{K_3} + \dots + \frac{Q_n}{K_n} \right) \end{aligned} \quad (12.30)$$

ёки

$$\sum \Delta t = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K}.$$

Бундан

$$\frac{1}{F} = \frac{\sum \Delta t}{\sum Q/K}.$$

(12.26) — (12.28) ифодалардаги $\frac{1}{F}$ қийматини (12.30) тенгламага қўйиб, қуйидагиларга эришамиз:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1/K_1 \sum \Delta t}{\sum Q/K} \quad (12.31)$$

$$\Delta t_2 = \frac{Q_2/K_2 \sum \Delta t}{\sum Q/K} \quad (12.32)$$

$$\Delta t_n = \frac{Q_n/K_n \sum \Delta t}{\sum Q/K} \quad (12.33)$$

Демак, температураларнинг умумий фойдали фарқи аппаратлар бўйича иссиқлик сарфининг иссиқлик ўтказиш коэффициентлари нисбатига пропорционал равишда тақсимланади. $\sum \Delta t$ ни аппаратларнинг иситиш юзалари бир хил бўлган шароитда ($F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_n = \text{const}$) тақсимлаш анча тежамли бўлганлиги сабабли у кенг тарқалган.

Аппаратларнинг умумий иситиш юзаси минимал бўлганда $\sum \Delta t$ ни тақсимлаш. Бу усулни икки аппаратли буглатиш қурилмаси мисолида қўриб чиқамиз. Бундай қурилманинг умумий иситиш юзаси қуйидагича топилади:

$$F = F_1 + F_2 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}.$$

$\Sigma \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ бўлганлиги сабабли, $\Delta t_2 = \Sigma \Delta t - \Delta t_1$ деб ёзиш мумкин. Бу ҳолда:

$$F = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q}{K_2 (\Sigma \Delta t_1 - \Delta t_1)}. \quad (12.34)$$

Курилманинг минимал иситиш юзасини топиш учун қуйидаги шартни қабул қилиш зарур:

$$\frac{dF}{d(\Delta t_1)} = 0$$

(12.34) тенгламани дифференциаллаб ва биринчи ҳосилани нолга тенглаштириб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$\frac{dF}{d(\Delta t_1)} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 (\Sigma \Delta t - \Delta t_1^2)} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2^2} = 0$$

ёки

$$\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2^2}$$

Бундан

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \sqrt{\frac{Q_1 K_1}{Q_2 K_2}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}$$

Пропорцияларнинг хоссаларига кўра:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{\Delta t_1}{\Sigma \Delta t} = \frac{\sqrt{Q_1/K_1}}{\sqrt{Q_1/K_1} + \sqrt{Q_2/K_2}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\Sigma \sqrt{\frac{Q}{K}}}$$

Демак, биринчи аппаратдаги температураларнинг фойдали фарқи қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{\Sigma \Delta t \sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\Sigma \sqrt{\frac{Q}{K}}}. \quad (12.35)$$

Худди шунингдек, иккинчи аппарат учун:

$$\Delta t_2 = \frac{\Sigma \Delta t \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}{\Sigma \sqrt{\frac{Q}{K}}}. \quad (12.36)$$

Хулоса қилиб, n та аппаратдан иборат бўлган буглатиш қурилмасининг m -аппарати учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\Delta t_m = \frac{\sum \Delta t_i \sqrt{\frac{Q_m}{K_m}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}} \quad (12.37)$$

Температураларнинг умумий фойдали фарқини аппаратлар бўйича бу усул билан тақсимлаганда аппаратларнинг иситиш юзаси ҳар хил бўлиб чиқади. Бу ҳол буглатиш қурилмасини тайёрлаш ва уни ишлатишни қимматлаштиради.

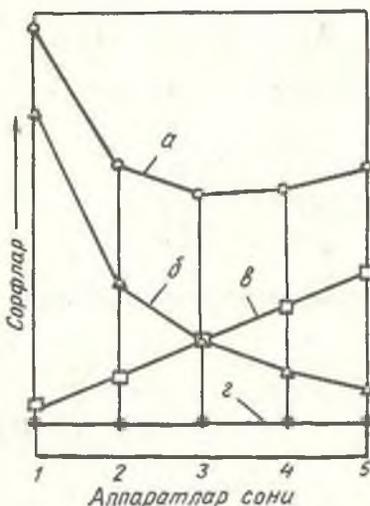
Δt_m ни қурилманинг иситиш юзаси минимал бўлганда тақсимлаш фақат баъзи шароитларда (масалан, буглатиш аппаратларини қимматбаҳо материаллардан тайёрлаш керак бўлганда) мақсадга мувофиқдир.

Аппаратларнинг оптимал сонини аниқлаш. Қўп аппаратли буглатиш қурилмасида аппаратларнинг сони ортиб бориши билан 1 кг сувни буглатиш учун зарур бўлган иситувчи бугнинг сарфи камайиб боради. Бироқ аппаратлар сонининг ортиши билан температураларнинг йўқотилиши кўнаяди. Иссиқлик ўтказиш жараёнининг яхши кетиши учун ҳар бир аппаратда температура-ларнинг фойдали фарқи (иситувчи буг ва қайнаётган эритма

температураларининг фарқи) маълум қийматга эга бўлиши шарт. Бу фарқ табиий циркуляция билан ишлайдиган аппаратлар учун камида $5-7^\circ\text{C}$ ва мажбурий циркуляция билан ишлайдиган аппаратлар учун камида 3°C бўлиши керак.

Аппаратларнинг сони жуда кўпайиб кетса, температуралар йўқотилишининг йиғиндиси қурилмадаги температураларнинг умумий фарқига тенг ёки ундан ҳам ортиб кетиши мумкин. Бунда эритмаларни буглатиш мумкин бўлмай қолади.

Аппаратларнинг оптимал сонини техникавий-иқтисодий ҳисоблашлар йўли билан аниқлаш мақсадга мувофиқ. Бундай ҳисоблашлар электрон ҳисоблаш машиналарида ҳам бажарилиши мумкин. 12.5-расмда аппаратларнинг оптимал сонини график орқали топиш кўрсатилган. Вертикал



12.5-расм. Буглатиш қурилмаларида аппаратларнинг оптимал сонини аниқлашга доир:

а — умумий сарфлар; б — иситувчи бугнинг қиймати; в — амортизация сарфлари; г — меҳнат сарфи.

ўқда 1 кг сувни буглатиш қиймати берилган, горизонтал ўқда эса аппаратларнинг сони кўрсатилган. Графикдан кўришиб турибдики, аппаратларнинг сони кўпайиши билан иситувчи бугнинг қиймати камаймоқда (б — эгри чизиги), амортизация сарфи эса кўпаймоқда (в — чизик), қурилмани ишлатиш билан боғлиқ бўлган меҳнат сарфи бироз ўзгармоқда (г — чизик).

1 кг сувни буглатиш билан боғлиқ бўлган умумий сарфни белгилловчи эгри чизикнинг (а) минимумига тўғри келган аппаратларнинг сони, тахминан, оптимал деб олинади.

Одатда кўп аппаратли буглатиш қурилмаларидаги аппаратларнинг сони 2 тадан кам ва 5—6 тадан ортик бўлмайди. Кўпинча аппаратларнинг оптимал сони 3—4 та бўлади.

12.4-§. БУГЛАТИШ АППАРАТЛАРИНИНГ ТУЗИЛИШИ

Буглатиш жараёни ҳар хил буглатгичларда олиб борилади. Буглатиш аппаратлари иситувчи юзанинг конструкцияси ва жойлашуви, исиклик ташувчи агентларнинг йўналиши, циркуляция тури ва режими ва бошқа бир қатор омилларга кўра бир неча турларга ажратилади:

1. Иситиш камерасининг конструкциясига биноан буг — кобикли, змеевикли, осма ҳолатда ва бошқа кўринишда бўлган иситиш камерали буглатгичлар;

2. Иситиш юзасининг жойлашувига нисбатан вертикал, горизонтал ва қия бурчакли буглатгичлар;

3. Иситувчи агентнинг турига кўра буг, газ, юқори температурали иситувчи агент ёки электр билан иситиладиган буглатгичлар;

4. Циркуляция режими ва характерига кўра табиий, мажбурий ҳамда бир ва кўп қаррали циркуляцияли буглатгичлар;

5. Эритмани аппаратга бериб туриш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган буглатгичлар;

6. Аппаратдаги босимнинг қийматига кўра атмосфера босими, ортиқча босим, вакуум билан ишлайдиган буглатгичлар;

7. Аппаратларнинг сонига кўра бир ва кўп аппаратли буглатиш қурилмалари;

8. Эритма ва иситувчи агентнинг ўзаро йўналишига кўра бир хил, қарама-қарши, мураккаб йўналишли ҳамда эритма билан параллел таъминланувчи буглатгичлар.

Буглатиш аппаратларининг асосий конструкциялари билан танишиб чиқамиз.

Марказий циркуляцион трубали буглатиш аппаратлари. Буглатилиши керак бўлган эритма иситиш камерасининг юқориги қисмидан берилади. Иситиш камераси бир неча трубалар тўннамидан иборат бўлиб, унинг учи труба турига развальцовка усули билан бириктирилган (12.1-расм). Эритма трубаларнинг ичида қайнаб, буг — суюқлик аралашмаси ҳолида трубанинг баландлиги бўйича кўтарилади ва аппаратнинг юқориги қисмида жойлашган буг бўшлигидаги ажраткичга ўтади. Иккиламчи бугдан озод бўлган эритма ва унинг томчилари марказий циркуляция трубасига тушади.

Эритманинг циркуляция тезлиги унинг физик хусусиятига, иссиқлик миқдорига ҳамда циркуляция контурининг гидравлик қаршилигига боғлиқ. Қўюлтирилган эритма аппаратнинг пастки қисмидан чиқарилади. Иккиламчи буг суюқлик устидаги ҳажми эгаллайди ва сўнгра аппаратнинг юқориги қисмида жойлашган томчи ушлагич орқали ўтказилиб узатилади. Буглатиш жараёни: 1) атмосфера босимида; 2) ортиқча босимда; 3) вакуум остида олиб бориш мумкин. Биринчи усулдан фойдаланилганда эритмадан ажралган иккиламчи буг атмосферага чиқариб юборилади. Бу усул энг оддий ҳисобланади, бироқ иссиқлик сарфлаш жиҳатидан тежамли эмас.

Ортиқча босим билан буглатиш олиб борилганда иккиламчи буг юқори температурага эга бўлади, шу сабабли бу иккиламчи бугдан кўпинча бошқа иссиқлик алмашилиш аппаратларини иситишда фойдаланилади.

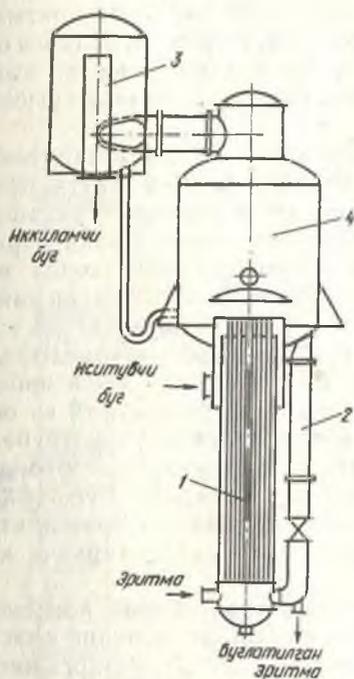
Вакуум билан буглатишда эритманинг қайнаш температураси пасаяди, бу ҳол буглатиш аппаратларини иситиш учун паст босимли бугдан фойдаланиш имконини беради. Бу усул юқори температураларда парчаланиб кетадиган эритмаларни буглатиш учун ишлатилади.

Қуюқлиниш пайтида эритманинг физик хоссалари ўзгаради. Концентрация ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сиғими ва температура ўтказувчанлик камаяди, эритманинг қовушоқлиги ортади. Натижада иситиш юзасидан эритмага иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати камаяди.

Иситувчи трубалардаги суюқлик буг аралашмаси билан циркуляция трубадаги бугланаётган эритманинг зичликлари ҳар хил бўлгани учун аппаратдаги эритма ўз-ўзидан циркуляция бўлади. Зичликлар фарқи қанча катта бўлса, буглатиш жараёнининг тезлиги шунча юқори бўлади. Циркуляция трубагининг диаметри иситувчи камера диаметрининг $1/3$ улушига тенг қилиб олинади. Бундай буглатиш аппаратларининг тузилиши содда ва бугланаётган эритма табиий циркуляция қилинади.

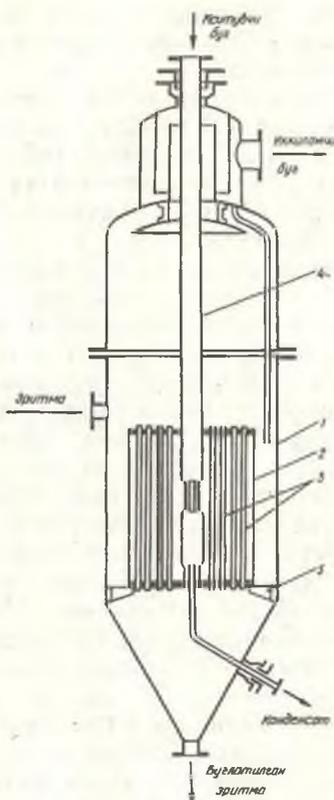
К а м ч и л и к л а р и : трубалар труба турларига маҳкам ўрнатилган бўлади, циркуляция труба иситиш камераси ичида бўлганлиги сабабли жараён давомида исиб туради. Шу сабабли циркуляция трубадаги эритма билан иситувчи трубадаги суюқлик буг аралашмаларининг зичликлари орасидаги фарқ озаяди, натижада буглатиш жараёнининг тезлиги камаяди. Шунинг учун буглатиш аппаратларининг қўпчилигида циркуляция труба аппаратнинг ташқи қисмига ўрнатилади.

Ташқи циркуляция труба буглатиш аппаратлари. Иситувчи камера юзасининг катта ва иситиш трубаларининг зич бўлишини таъминлаш мақсадида эритма циркуляция қилиш труба буглатиш аппаратининг ташқи томонига ўрнатилади. Бундан ташқари, циркуляция труба иситиш камерасидан ташқарида жойлашгани учун, циркуляция бўлаётган эритманинг совиши натижасида унинг табиий циркуляция тезлиги ортади ҳамда иситувчи камеранинг диаметри аппарат диаметрига нисба-



2.6-рasm. Ташки циркуляция
1 — трубали буглатиш аппарати:

1 — буг камераси; 2 — циркуляция тру-
баси; 3 — томчи ушлагич; 4 — буг
бўшлиги.



12.7-рasm. Осма иситиш каме-
рали буглатиш аппарати:

1 — қобик; 2 — иситиш камераси;
3 — иситувчи трубалар; 4 — буг ки-
рувчи труба; 5 — кронштейн.

тан бирмунча кичкина бўлиб, циркуляцион труба эса иситувчи камеранинг атрофида ихчам жойлашади. Иккиламчи бугни сув томчиларидан ажратувчи томчи ушлагич ҳам аппаратдаги буг бўшлигидан ташқарида жойлашган бўлади (12.6- рasm).

Бу аппаратларнинг конструктив тузилиши анча мураккаб, ammo бу аппаратда иссиқлик ўтказиш самарадорлиги юкори ва 1 м^2 иситиш юзасига марказий циркуляцион буглатиш аппаратла- рига нисбатан кам металл сарфланади.

Осма иситиш камерали буглатиш аппаратлари. Бундай буглатиш аппаратларида иситувчи камера аппаратнинг пастки қисмида эркин холда ўрнатилган бўлади (12.7- рasm). Буг труба орқали трубалар орасидаги бўшлиққа берилади ва пастки қисмидан конденсат ажратиб олинади. Буглатиладиган эритма халқасимон кўндаланг канал орқали пастга қараб, аппарат қобиғи билан осма иситувчи камераларнинг девори бўйлаб ҳаракат

килади. Эритма иситувчи трубаларнинг баландлиги бўйлаб кўтарилиб, буглатиш процесси эритмани циркуляция қилиш билан олиб борилади.

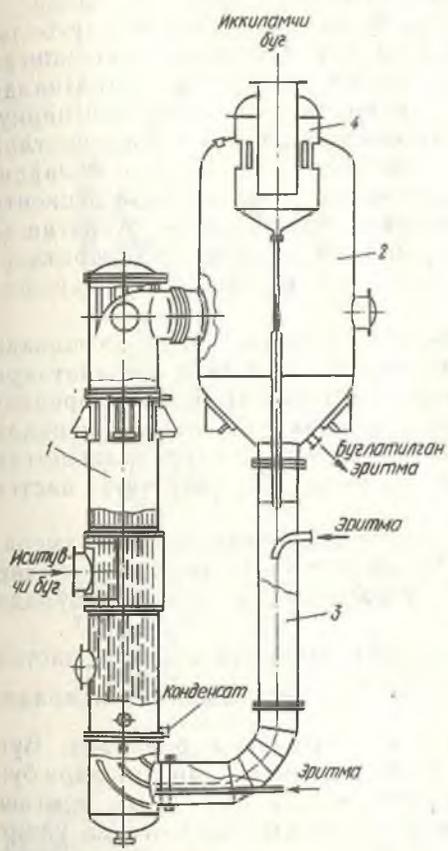
Иккиламчи буг томчи ушлагичдан ўтиб, аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади, иккиламчи бугдан ажралган эритма ва унинг томчилари вертикал труба орқали иситувчи трубаларга оқиб тушади. Аппаратдаги иситувчи трубаларнинг ички ва ташқи юзасида ҳосил бўлган қуйқалар маълум вақт давомида сув билан ювиб турилади.

Осма иситиш камерали буглатиш аппаратларида циркуляция бўладиган эритма юзасининг кўндаланг кесими катта бўлиб, циркуляцияон труба иситиш камерасидан ташқарида жойлашганлиги учун эритмаларнинг бугланиши жадаллик билан боради. Бундан ташқари, иситиш камераси алоҳида осма ҳолда жойлашганлиги туфайли, температуралар фарқи катта бўлган пайтда трубалар ва аппаратнинг қобиғи деформация натижасида узайганда ҳам, трубаларнинг труба тўрида зич жойлашувига таъсир қилмайди. Осма иситувчи камеранинг трубалари ишга яроқсиз бўлиб қолса, уларни янгиси билан алмаштириш қулай ва осон. Эритманинг циркуляция тезлиги катта бўлгани учун трубалар ичида қуйқа ҳосил бўлиши камаяди. Циркуляцияон трубадаги эритма билан ҳалқасимон кўндаланг кесимдаги буг-суюқлик аралашмалари орасидаги гидростатик босимлар фарқи эритманинг табиий циркуляция бўлишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади.

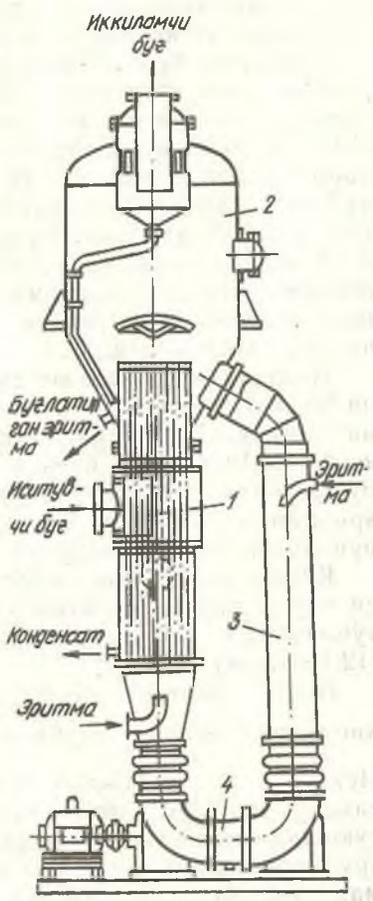
Аппаратнинг к а м ч и л и к л а р и : иситувчи буг ва конденсатнинг трубалардан кириши ва чиқиши қийин; иситиш юзасига сарфланадиган металл, марказий трубаби буглатгичларга нисбатан кўп, ковушоқлиги катта ва кристалланувчи эритмалар буглатилганда циркуляция тезлиги кам бўлганлиги учун осма иситиш камерали буглатиш аппаратларини кўп вақтга тўхтатишга тўғри келади, чунки иситиш трубаларини тез-тез тозалаб туриш керак.

Ажратилган иситкичли буглатиш аппаратлари. Бундай аппаратлар кристалланувчи ва кўпик ҳосил қилувчи эритмаларни буглатиш учун ишлатилади. Буглатгич икки қисмга: иситувчи камера ва сепараторга ажратилган бўлади (12.8- расм). Иситкич трубаларида буг-суюқлик аралашмаси ҳосил бўлади ва сепараторга ўтади. Сепараторда иккиламчи буг ажралади, суюқлик циркуляция трубаси билан иситкич трубаларига қайтади. Иситкич трубаларининг узунлиги 7 метргача етади. Трубалар узунлигининг ортиши билан циркуляциянинг тезлиги ҳам кўпаяди, чунки бунда трубаларда ҳосил бўлган буг суюқлик аралашмаси ва циркуляция трубаси ичидаги суюқлик зичликлари ўртасидаги фарқ ортади. Иситкичнинг сепаратордан алоҳида жойлашиши трубаларни тозалаш ва тузатиш учун қулайлик яратади.

Ажратилган иситкичли буглатиш қурилмаларида эритмаларнинг циркуляция тезлиги 1,5 м/с гача етиши мумкин. Бундай буглатиш қурилмаларида исиклик ўтказиш коэффициент-



12.8- рссм. Ажратилган иситкиччи буглатиш қурилмаси:
 1 — иситкич; 2 — сепаратор; 3 — циркуляция труба-
 басы; 4 — томчи ушлагич.



12.9- расм. Мажбурий циркуляцияли буглатиш қурилмаси:
 1 — иситкиччи камера; 2 — сепаратор;
 3 — циркуляция труба-басы; 4 — циркуляция насоси.

енти юкори ва ишлатиш қулай бўлганлиги учун улардан кенг микёсда фойдаланилади.

Ажратилган иситкиччи буглатиш қурилмаларида иситкичлар вертикал, горизонтал ва оғма ҳолда ўрнатилади.

Мажбурий циркуляцияли буглатиш қурилмалари. Қуюқ, солиштирма оғирлиги катта, ковшоқлиги юкори бўлган эритмаларнинг табиий циркуляция тезлиги жуда кам бўлади. Бу турдаги эритмалар юкорида баён қилинган буглатиш аппаратларида буглатилганда иссиқлик ўтказиш коэффициенти ҳам кам бўлиб, аппаратнинг унумдорлиги пасайиб кетади.

Циркуляция тезлигини ва иссиқлик ўтказиш коэффициенти ошириш учун мажбурий циркуляцияли буглатиш аппа-

ратлари ишлатилади. Суюкликларнинг циркуляцияси пропеллерли ва марказдан қочма насослар ёрдамида амалга оширилади.

Дастлабки буглатилиши керак бўлган эритма иситкич трубаларнинг пастки қисмига насос орқали берилади, қуюқлашган эритма эса сепараторнинг пастки қисмидан ажратилади (12.9- расм). Иситувчи трубалар ичидаги суюкликларнинг циркуляция тезлиги 2—2,5 м/с ни ташкил қилади. Бундай аппаратлар қуйидаги афзалликларга эга: табиий циркуляция билан ишлайдиган аппаратларга нисбатан иссиқлик ўтказиш коэффициенти 3—4 марта катта, кристалланувчи эритмаларни буглатишда иситувчи юзада ифлосланишлар пайдо бўлмайди. Бу аппаратларнинг камчилиги шундаки, насоснинг ишлаши учун қўшимча энергия сарфланади.

Плёнкали буглатиш аппаратлари. Кўпикланувчи ва иссиқликка чидамсиз эритмалар учун плёнкали буглатиш аппаратлари ишлатилади. Бундай аппаратларда эритма иситиш трубаларининг юзаси бўйлаб юпка плёнка холида ҳаракат қилади. Плёнкали буглатиш аппаратлари иситиш трубаларида ҳаракатланаётган эритманинг йўналишига қараб икки хил (кўтарилувчи ва пастга йўналувчи плёнкали) бўлади.

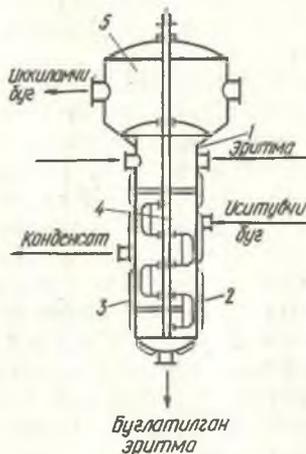
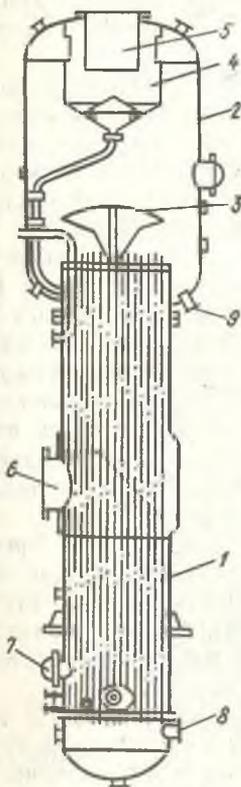
Кўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратининг иситиш камераси труба тўрига ўрнатилган, узунлиги 7—9 метрли трубалар тўпламидан ва ажратувчи сепаратордан иборат бўлади (12.10- расм).

Буглатилаётган эритма тўхтовсиз иситиш камерасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$ қисмини тўлдиради.

Иситувчи буг трубалар орасидаги бўшлиққа берилади. Буг таъсирида эритма қайнаганда, трубаларнинг қолган қисмлари буг суюқлик аралашмаси билан тўлади. Бу аралашма иситиш трубаларининг девори атрофида суюқлик плёнкасига ва унинг марказида бугга ажралган бўлади. Суюқлик плёнкаси буг оқимида ишқаланиши сабабли юқорига қараб трубаларнинг ички юзаси бўйлаб катта тезликда ҳаракат қилади ва бугланади. Иситиш трубаларининг юқориги қисмида бугнинг миқдори кўпайиб боради ва натижада эритманинг концентрацияси ҳам ошиб боради.

Иситиш трубаларидан чиқаётган иккиламчи бугга аралашган суюқлик томчилари сепаратордаги тўсикка урилиб, пастдаги иситиш трубаларига тушади. Намланган буг томчи ушлагичга тангенциал йўналишда кириб айланма ҳаракат қилади. Томчи ушлагичда иккиламчи буг таркибида қолган сув томчилари марказдан қочма куч таъсирида унинг деворларига урилиб пастга оқиб тушади, иккиламчи буг эса аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади.

Қуюлтирилган эритма сепараторнинг пастки қисмида ўрнатилган штуцер орқали олинади. Кўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратларининг умумий баландлигини камаййтириш мақсадида иситиш камераси билан сепаратор алоҳида тайёрланиб, ёнма-ён ўрнатилиши мумкин.



12.11- расм. Ротор-плёнкали буглатиш аппарати:

1 — цилиндричон қобик; 2 — куракчалар; 3 — буг ги-
лофи; 4 — ротор; 5 — сепаратор.

12.10- расм. Қўтарилувчи
плёнкали буглатиш қурил-
маси:

1 — иситувчи камера; 2 — сепара-
тор; 3 — тўсикли диск; 4 — томчи
ушлагич; 5, 6, 7, 8, 9 — штуцерлар.

Ковушоқлиги катта бўлган эритмаларни буглатиш учун пастга йўналувчи плёнкали буглатиш аппаратлари ишлатилади. Бу аппаратларда буглатилиши лозим бўлган эритма иситиш камера-сининг юқориги қисмидан берилади. Эритма эса иситиш трубала-рининг юзаси бўйлаб юпка плёнка ҳолида оғирлик кучи таъсирида пастга қараб ҳаракат қилади. Бу — суюқлик аралашмаси ва иккиламчи буг аппаратнинг пастки қисмидаги сепараторда ажратилади. Плёнкали буглатиш аппаратларининг иситиш каме-расида бугланаётган эритма берилаётган буг билан кам контактда бўлгани учун у юқори иссиқлик ўтказиш коэффициентига эга. Бу аппаратларнинг иситиш трубалари узун бўлгани учун фойдали температуралар фарқи гидростатик босим ҳисобига камаяди, бу нарса фақатгина плёнкали буглатувчи аппаратларга хосдир. Иситиш трубаларида эритма бир марта циркуляция қилингани учун, эритма трубалардан тез вақт ичида ўтади. Натижада иссиқлик таъсирига мойил эритмалар буглатилганда бу аппа-ратларда унинг хусусиятлари ўзгармайди.

Лекин бу аппаратларнинг қуйидаги камчиликлари ҳам бор: иситиш трубалари узун бўлгани учун уларни тозалаш ва бир хил унумдорликка эришиш қийин, иситувчи буг босими ва эритманинг

бошлангич концентрацияси ўзгарган пайтда буглатиш жараёнини бошқариш кийинлашади, кристалланувчи эритмаларни буглатиш мумкин эмас.

Кристалланувчи, қовушоқ ва иссиқликка чидамсиз эритмаларни буглатиш учун ротор — плёнкали буглатиш аппаратлари кенг қўлланилмоқда. Бундай аппаратлар вертикал қобикли цилиндрдан иборат бўлиб, у бир неча иситувчи секциялардан ва сепаратордан иборат (12.11-расм). Иситувчи секцияларнинг деворлари орасига иситувчи агент берилади. Иситувчи агент сифатида сув, буг, дифенил аралашмаси ишлатилади. Қобик ичига куракчалари бўлган вертикал вал (ротор) ўрнатилган. Ротор электромотор ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Роторга ўрнатилган куракчалар 3 м/с тезлик билан айланма ҳаракат қилади. Штуцерлар орқали иситувчи секцияларга тангенциал йўналишда кирган эритма куракчалар ёрдамида бир хил тақсимланиб, иситилаётган эритма қобикнинг ички юзасидан юпка плёнка холида тушади. Буглатиб қуюқлаштирилган эритма конуссимон камеранинг пастки қисмига оқиб тушиб, тўхтовсиз равишда штуцер орқали ташқарига чиқариб турилади.

Ҳосил бўлган иккиламчи буг сепараторда сув томчиларидан ажралади ва аппаратнинг юқори қисмидан чиқиб кетади, сув томчилари эса иситувчи секцияларга оқиб тушади.

Айланма ҳаракатдаги куракчалар марказдан қочма куч таъсирида эритмани иситилаётган юзага итариб, унинг пастга қараб ҳаракат қилишига имкон тугдиради.

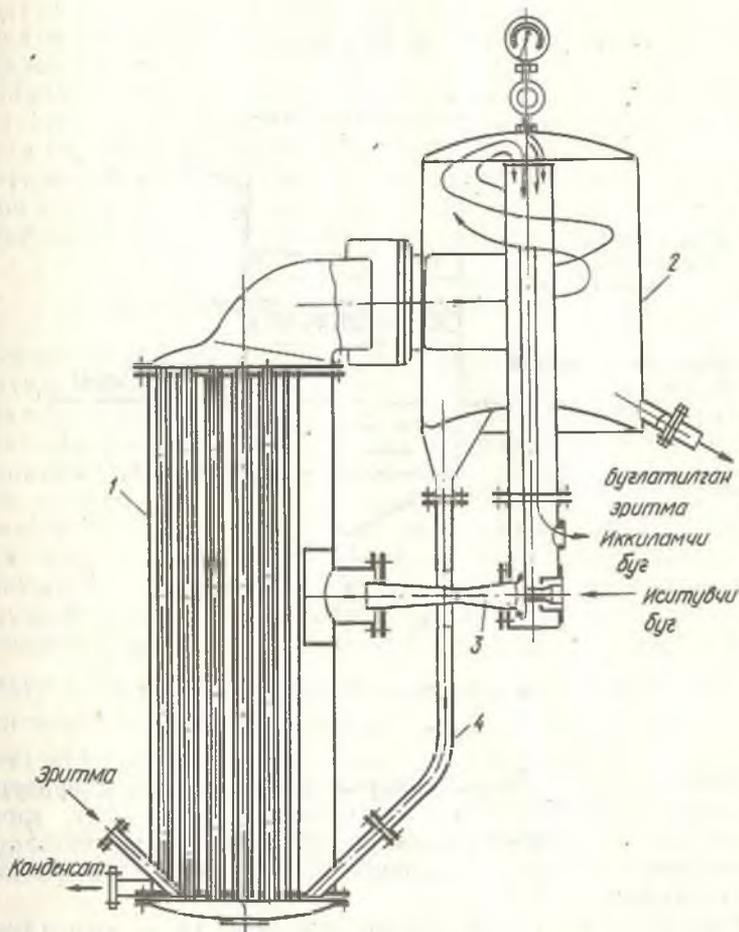
Эритма билан иситилаётган юзанинг контактлашиш вақти эритманинг қовушоқлигига, ротордаги куракчаларнинг турига, айланиш тезлигига ва солиштирма унумдорлигига боғлиқ.

Бундай буглатиш аппаратларида эритма иситиш юзасида кам вақт давомида контакда бўлгани учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти юқори бўлади. Иситиш юзалари куракчалар воситасида тозаланиб турилгани учун кристалланувчи эритмаларни қурук ҳолга келтиргунча буглатиш мумкин.

Саноатда икки турдаги ротор — аппаратлар ишлатилади: 1. РП типдаги қўзғалувчан куракчалари бўлган буглатгичлар (иссиқлик алмашилиш юзаси 0,8 дан 20 м² гача); 2. ИРС типдаги погонали қобикли буглатгичлар (иссиқлик алмашилиш юзаси 0,8 дан 24 м² гача).

Бу аппаратлар камчиликлардан ҳам холи эмас; иситиш юзаси кам бўлгани учун унумдорлиги юқори эмас, конструктив тузилиши мураккаб, бошқа аппаратларга нисбатан қиммат.

Иссиқлик насосли буглатиш аппаратлари. Бундай аппаратлар саноатда ҳар хил мева шарбатларини, юқори температуралар таъсирига мойил эритмаларни буглатиш учун ишлатилади. Бундай аппаратларда ҳосил бўлган иккиламчи буг босими иситувчи бугнинг босимига тенг бўлгунча сиқилади (12.12-расм). Сиқилган буг аппаратни иситиш учун ишлатилади. Иккиламчи бугни сиқиш учун компрессорлар ва буг оқимли инжекторлар ишлатилади. Иссиқлик насосига эга бўлган буглатиш аппаратларида ташқари-

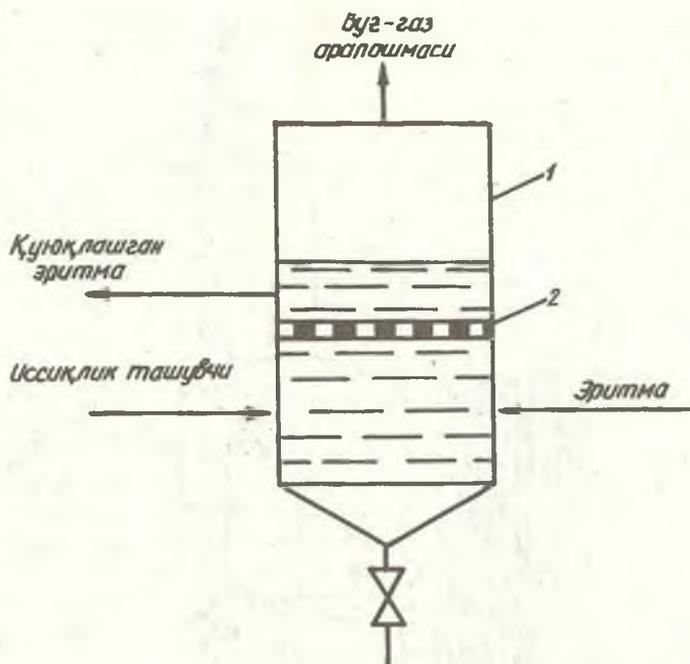


12.12- расм. Иссиқлик насосли буглатиш қурилмаси:

1 — буглатгич; 2 — сепаратор; 3 — буг оқимли илжектор; 4 — труба.

дан сарфланган энергия иккиламчи буг температурасини ошириш учун хизмат қилади. Аппаратни дастлаб ишга туширишда янги буг берилади. Бу буг билан эритма қайнагунча иситилади. Кейинчалик буглатиш иккиламчи буг ҳисобига боради. Иш пайтида назарий жиҳатдан ташқаридан буг талаб қилинмайди. Амалий жиҳатдан эса ташқаридан бир оз буг бериб туриш керак, чунки эритмани иситиш ва иссиқлик йўқолишларини қоплаш учун қўшимча буг талаб қилинади.

Иссиқлик насосли буглатиш аппаратлари эритма билан эритувчининг қайнаш температураларининг фарқи паст ($5-10^{\circ}\text{C}$) бўлган вақтда ишлатилади. Эритманинг қайнаш температураси юқори бўлса, бу усулдан фойдаланилмайди, чунки иккиламчи бугни сиқиш учун кўп энергия сарф бўлади.



12.13- расм. Барботажли буглатиш қурилмаси

1 — қобик; 2 — тўр.

Барботажли буглатиш аппаратлари. Юқори температурада қайнайдиган ва ўта агрессив эритмалар — сульфат, хлорид, фосфат кислотанинг эритмалари иситувчи инерт газларнинг бевосита контакти таъсирида барботажли буглатиш аппаратларида буглатилади.

Иссиқликни яхши ўтказадиган, зангламайдиган, юқори температураларга чидамли материалларни топиш қийин бўлгани учун, бундай эритмаларни иситувчи агентни девор орқали бериш билан буглатиб бўлмайди. Ички қисми ўтга чидамли ва зангламайдиган материал (ғишт, керамик плита) билан футеровка қилинган металл қобикли аппаратларда эритмалар бевосита тутун газларининг аралашуви таъсирида буглатилади. Газ бериладиган барботаж трубалари термосилид, графит ва зангламайдиган материаллардан тайёрланади.

12.13- расмда тутунли газ билан ишлайдиган барботажли буглатгичнинг схемаси кўрсатилган. Тутунли газ қобикнинг пастки қисмига берилади ва барботажли тўр орқали ўтганида эритманинг ичида майда пуфакчаларга ажралади; натижада катта иссиқлик алмашиниш юзаси ҳосил бўлади. Бунда эритувчи жадаллик билан бугланишга учрайди. Газ пуфакчалари сув буглари билан тўйингандан сўнг эритманинг юзасига қақди; бу пуфакчалар ёрилгандан кейин буг газ аралашмасини эритманинг

устидаги бўшлиққа силжиши учун хизмат қилади. Эритманинг устидаги температура эритма температурасига нисбатан 2—5°C каттарок бўлади.

Барботажли аппаратлар битта турли ва бир неча секцияларга ажратилган бўлиши мумкин. Бундан ташқари аралаштиргичи бўлган барботажли аппаратлар ҳам ишлатилади.

Бундай аппаратларнинг а ф з а л л и г и — тайёрлаш осон, ишлатиш эса қулай. Қ а м ч и л и г и : ёниш махсулотлари таъсирида буглатилаётган эритма ифлосланиб қолиши мумкин.

12.5-§. БУГЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

Буглатиш қурилмаларини лойиҳалаш ва ҳисоблаш учун уларнинг иситиш юзаси аниқланади. Саноатда кўп аппаратли буглатиш қурилмалари кенг қўлланилгани учун уч аппаратли буглатиш қурилмасини ҳисоблаш усулларини кўриб чиқамиз. Бир аппаратли қурилмага нисбатан кўп аппаратли қурилмаларнинг ўзига хос хусусияти шундаки, бунда ҳар битта аппарат учун умумий фойдали температуралар фарқи рационал тақсимланиши керак. Ҳар бир аппарат учун бугнинг сарфланиш миқдори ва буглатилаётган сув миқдори аниқланади.

Бундай қурилмани ҳисоблаш учун буглатилиши лозим бўлган эритманинг миқдори G_6 , унинг бошланғич ва охириги концентрациялари σ_6 ва σ_k , аппаратга кираётган эритманинг температураси t , иситилаётган бугнинг температураси T_n ҳамда охириги, яъни учинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи бугнинг конденсацияланиш температураси T_k'' маълум бўлиши керак.

1. Учала аппаратда бугланаётган эритувчининг умумий миқдори W (кг/с) ни аниқлаймиз:

$$W = G_6 \left(1 - \frac{\sigma_6}{\sigma_k} \right). \quad (12.38)$$

2. Аппаратлардаги буглатиладиган эритувчининг ўзаро нисбатини қабул қилиб, ҳар бир аппаратдаги иккиламчи бугнинг миқдорини аниқлаймиз:

$$W_1 : W_2 : W_3 = 1 : 1,05 : 1,1. \quad (12.39)$$

$$W_1 = \frac{W}{3,15}; \quad W_2 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,05; \quad W_3 = \frac{W}{3,15} \cdot 1,1. \quad (12.40)$$

3. Ҳар бир аппаратга кираётган эритманинг концентрациясини аниқлаймиз:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1}; \quad \sigma_2 = \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1 - W_2}; \\ \sigma_3 &= \frac{G_6 \sigma_6}{G_6 - W_1 - W_2 - W_3}; \end{aligned} \quad (12.41)$$

4. Ҳар бир аппаратдаги иситувчи буг босимини (Па) топамиз:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_1'''}{3} \quad (12.42)$$

бу ерда ΔP — ҳар бир аппаратдаги буг босимининг камайиши; P_1 — иситувчи бугнинг босими; P_1''' — биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи бугнинг босими.

а) учинчи аппаратдаги иситувчи ёки иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи бугнинг босимини топамиз:

$$P'' = P''' + \Delta P, \quad (12.43)$$

бу ерда: P''' — учинчи аппаратдан чиқаётган буг босими, у иккиламчи бугнинг конденсацияланиш температурасига қараб аниқланилади.

б) биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи бугнинг ёки иккинчи аппаратга қираётган бирламчи бугнинг босимини топамиз:

$$P' = P'' + \Delta P. \quad (12.44)$$

5. Ҳар бир аппаратдаги эритманинг қайнаш температурасини аниқлаймиз.

а) учинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_3 = t_3^3 + \Delta_3^3 + \Delta_3'' + \Delta_3'''; \quad (12.45)$$

б) иккинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_2 = t_2^2 + \Delta_2^2 + \Delta_2'' + \Delta_2'''; \quad (12.46)$$

в) биринчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_1 = t_1^1 + \Delta_1^1 + \Delta_1'' + \Delta_1'''; \quad (12.47)$$

бу ерда t_3^3 , t_2^2 , t_1^1 — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги эритувчининг қайнаш температураси; Δ_3^3 , Δ_2^2 , Δ_1^1 — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги эритманинг температура депрессияси; Δ_3'' , Δ_2'' , Δ_1'' — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги гидростатик эффект таъсирида эритма қайнаш температурасининг пасайиши; Δ_3''' , Δ_2''' , Δ_1''' — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги гидравлик қаршилик таъсирида буг температурасининг пасайиши.

Температура, гидростатик ва гидравлик депрессияларнинг қийматлари эритманинг тури ва унинг концентрациясига қўра танлаб олинади ёки ҳисоблаб топилади.

6. Эритманинг трубалардаги қайнаши учун зарур бўлган оптимал баландликларни аниқлаймиз. Табiiй циркуляцияли буглатиш аппаратларида сувли эритмаларни буглатиш учун

трубалардаги суюкликнинг оптимал сатҳини ($H_{\text{онт. м}}$) қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$H_{\text{онт}} = [0,26 + 0,0014(\rho_3 - \rho_c)]H_T \quad (12.48)$$

бу ерда H_T — трубаларнинг иш баландлиги, м; ρ_3 — эритманинг охириги концентрацияси бўйича зичлиги, кг/м^3 ; ρ_c — сувнинг қайнаш температураси бўйича зичлиги, кг/м^3 .

7. Ҳар бир аппарат учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти аниқлаймиз. Аппаратдаги эритмаларнинг қайнаш температураси ва концентрациясига қараб махсус справочник адабиётларидан эритманинг физик хоссалари (зичлик, қовушоклик, иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сизими ва шу кабилар) аниқланади. Йситиш трубаларининг узунлиги ва диаметри буглатиш аппаратининг турига қараб қабул қилинади. Сўнгра конденсацияланаётган буг ва қайнаётган эритма учун тегишли критериял тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентлари (α_1 ва α_2) аниқланади. Кейинчалик ҳар бир аппарат учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти K ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$) топилади:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1''} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2''}};$$

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'''} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2'''}}; \quad (12.49)$$

бу ерда α_1 ва α_2 — биринчи аппарат учун, α_1'' ва α_2'' — иккинчи аппарат учун, α_1''' ва α_2''' — учинчи аппарат учун иссиқлик бериш коэффициентлари, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$; λ — иситувчи трубалар девори материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{Вт/м} \cdot \text{К}$; δ — труба деворининг қалинлиги, м.

8. Ҳар бир аппарат учун талаб қилинадиган иссиқлик миқдорини (Вт) аниқлаймиз:

а) биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = W_1 r_1, \quad (12.50)$$

б) иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = W_2 r_2 - (G_6 - W_1)c_1(t_1 - t_2) \quad (12.51)$$

в) учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = W_3 r_3 - (G_6 - W_1 - W_2)c_2(t_2 - t_3) \quad (12.52)$$

бу ерда: r_1, r_2, r_3 — биринчи, иккинчи ва учинчи аппаратдаги бугларнинг ҳосил қилган иссиқлиги, Ж/кг ; c_1, c_2 — иккинчи ва учинчи аппаратлардан чиқаётган эритмаларнинг иссиқлик сизими, $\text{Ж/кг} \cdot \text{К}$; t_1, t_2, t_3 — биринчи, иккинчи ва учинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси, $^{\circ}\text{C}$.

9. Биринчи, иккинчи ва учинчи аппаратлардаги эритмаларни буглатиш учун керак бўладиган бугнинг миқдори (кг/с) қуйидагича аниқланади:

$$D_1 = \frac{Q_1}{r_1 x}; \quad D_2 = \frac{Q_2}{r_2 x}; \quad D_3 = \frac{Q_3}{r_3 x}. \quad (12.53)$$

бу ерда: x — бугнинг қуруклик даражасини кўрсатади. Кўпинча $= 0,9 \div 1,0$ бўлади.

10. Фойдали температураларнинг аппаратлар бўйича тақсимланишини аниқлаймиз. Фойдали температуралар фарқи Δt аппарат бўйича икки хил усулда тақсимланади: а) ҳамма аппаратларнинг иситиш юзаси бир хил бўлган шароитда; б) умумий иситиш юзаси энг кам бўлганда.

Фойдали температуралар фарқи биринчи усул билан тақсимланганда аппаратлар бўйича Δt қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{\frac{Q_1}{K_1} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \quad \Delta t_2 = \frac{\frac{Q_2}{K_2} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}};$$

$$\Delta t_3 = \frac{\frac{Q_3}{K_3} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \quad (12.54)$$

Фойдали температуралар фарқи иккинчи усул билан тақсимланганда аппаратлар бўйича Δt қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad \Delta t_2 = \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}};$$

$$\Delta t_3 = \frac{\sqrt{\frac{Q_3}{K_3}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \quad (12.55)$$

бу ерда

$$\Delta t = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K}.$$

11. Ҳар бир аппаратнинг иситувчи юзасини икки хил вариант бўйича тонамиз:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}; \quad F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}; \quad F_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}; \quad (12.56)$$

Сўнгра икки вариант натижаларидан биттаси танлаб олинади. Одатда аппаратларнинг иситиш юзаси бир хил бўлган вариант қабул қилинади; бунда бир хил типдаги аппаратлардан фойдала-

ниш имконияти пайдо бўлади. Кейинчалик аппаратларнинг топилган юзаларининг қийматлари асосида буглатиш қурилмасининг аниқ ҳисоби қилинади, бунда атроф муҳитга иссиқликнинг йўқолиши ва аппаратлар бўйича температуралар ва босимларнинг бироз ўзгарган ҳолатдаги тақсимланиши инobatга олинади.

12.6-§. БУҒЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ТАНЛАШ

Буглатиш қурилмаларининг конструкциялари умуман қуйидаги талабларни қондириши керак: унумдорлиги юқори, кичик ҳажмли аппаратда иложи борича иссиқлик ўтказишнинг тезлиги катта, тузилиши содда, тайёрлаш учун кам металл сарфланиши, ишончли ишлайдиган, иссиқлик алмашилиш юзасини тозалаш осон ва аппаратнинг баъзи бир қисмлари бузилганда тузатиш қулай бўлиши керак. Аппарат конструкцияси ва у тайёрланадиган материал буглатилиши лозим бўлган эритманинг физик-кимёвий хусусиятларига (ковушоқлик, температура депрессияси, кристалланиши, юқори температурага чидамлилиги, кимёвий агрессивлиги ва шу кабилар) қараб танланади.

Буглатиш аппаратининг унумдорлиги ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун циркуляция тезлиги кўпайтирилади. Лекин бунда буглатиш учун кўп энергия сарф бўлиб, фойдали температуралар фарқи камаёди, чунки иситилаётган бугнинг температураси ўзгармас бўлгани учун гидравлик қаршиликлар кўпайиши билан эритманинг қайнаш температураси кўпаяди. Бу омилларнинг бир-бирига қарама-қаршилиги буглатиш аппаратларининг оптимал конструкцияларини танлаганда бевосита ҳисобга олинади.

Буглатиш қурилмалари баъзи ўзига хос афзалликларини ҳисобга олган ҳолда танланади.

Ковушоқлиги кам ($8 \cdot 10^{-3}$ Па·с гача), кристалл ҳосил қилмайдиган эритмаларни буглатиш учун кўп киррали табиий циркуляция бўладиган вертикал буглатиш аппаратлари ишлатилади. Бу аппаратлар орасида иситиш камераси ажратилган ва циркуляция трубаси ташқарига ўрнатилган буглатиш аппаратлари энг самарали ҳисобланади.

Кристалланмайдиган, юқори ковушоқликка ($100 \cdot 10^{-3}$ Па·с гача) эга бўлган эритмаларни буглатиш учун мажбурий циркуляцияли, трубаси айрим ҳолда тўғри пастга йўналувчи плёнкали ёки ротор-плёнкали буглатиш аппаратлари ишлатилади. Ротор-плёнкали буглатиш аппаратлари юқори температуралар таъсирига чидамли эритмаларни буглатиш учун ҳам қўлланилади.

Кучли кристалланувчи ва ковушоқлиги $0,05$ Па·с гача бўлган эритмаларни буглатиш учун мажбурий циркуляцияли ёки эркин тушувчи плёнкали буглатгичлардан фойдаланиш мумкин.

Мажбурий циркуляция трубали буглатиш аппаратларидан кристалланувчи ва ковушоқ эритмаларни буглатиш учун ҳам кенг фойдаланилади. Бундай эритмаларни табиий циркуляция билан ишлайдиган, иситиш зонаси ажратилган буглатиш аппаратларида

хам буглатиш мумкин. Кўшикланувчи эритмаларни буглатиш учун тўғри йўналишли, кўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратларидан фойдаланиш тавсия қилинади.

Агрессив кислота ва ишқор эритмаларини буглатиш учун барботажли буглатиш аппаратлари, юқори температура таъсирида бузилувчи эритмаларни (ҳар хил мева шарбатларини) буглатиш учун эса иссиқлик насосига эга бўлган буглатиш аппаратлари ишлатилади.

Буглатиш аппаратларини тайёрлаш учун углеродли, кислотага бардошли пўлат ва мис ишлатилади. Ишқорларнинг юқори концентрацияли эритмаларини буглатиш учун чўяндан қилинган аппаратлардан фойдаланилади, бундай аппаратларнинг иситиш трубалари мисдан тайёрланади.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 12.1. Буглатиш жараёнининг моҳияти. Бу жараёндан саноатда қандай мақсадларда фойдаланилади?
- 12.2. Битта аппаратли буглатиш қурилмасининг моддий ва иссиқлик балансини қандай кўринишда ифодалаш мумкин?
- 12.3. Буглатиш аппаратдаги температураларнинг фойдали фарқи қандай аниқланади?
- 12.4. Буглатиш жараёнида нима учун температуранинг йўқотилиши юз беради?
- 12.5. Саноатда асосан кўп аппаратли буглатиш қурилмалари ишлатилишининг сабаби нимада? Уларнинг схемалари. Бу схемалар ичида нима сабабдан бир хил йўналишли қурилмалар кенг ишлатилади?
- 12.6. Кўп аппаратли буглатиш қурилмасининг моддий ва иссиқлик балансларини қандай тенгламалар орқали ифодалаш мумкин?
- 12.7. Кўп аппаратли буглатиш қурилмаларида температуранинг фойдали фарқи аппаратлар бўйича неча хил усулда тақсимланади? Улардаги аппаратларнинг оптимал сони қандай топилади?
- 12.8. Марказий ва ташқи циркуляция тробали буглатиш аппаратларининг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги нималардан иборат?
- 12.9. Ажратилган иситкичли ва мажбурий циркуляцияли буглатиш аппаратларининг ишлаш принципи. Бундай аппаратларнинг асосий камчилиги нимадан иборат?
- 12.10. Плёнкали буглатиш аппаратлари неча турга бўлинади? Улар қандай шароитларда ишлатилади?
- 12.11. Иссиқлик насосли ва барботажли буглатиш аппаратларининг ишлаш принципи. Ушбу буглатгичлардан қандай шароитларда фойдаланиш мақсадга мувофиқ?
- 12.12. Буглатиш аппаратларини ҳисоблаш тартиби. Бундай ҳисоблашнинг асосий мақсади нимадан иборат?

БАЪЗИ ТЕРМИНЛАРНИНГ ТАЪРИФИ

Аппарат (лат.), асбоб, техник қурилма, мослама. Дарсликда аппарат термини ўрнига қурилма сўзи ишлатилди. Масалан, механик, гидромеханик, иссиқлик ёки модда алмашишиш қурилмалари.

Барботаж (франц.), аралаштириш, суюқлик қатламидан газ ёки бугни босим билан ўтказиш.

Барботёр (франц.), идишнинг ичига сув буги ёки газ беришга мўлжалланган турли шаклга эга бўлган тешикли труба.

Вакуум (лат.), идишга қамалган, босими атмосфера босимидан анчагина паст бўлган газ ҳолати.

Вакуум — насос (лат., рус.), сийрак газлар (вакуум) ҳосил қилиш мақсадида идишлардан газ ёки бугларни сўриб оладиган қурилма.

Вентиль (нем.), трубада ҳаракатланувчи суюқлик, газ ёки буг бериш миқдорини золотник ёрдамида ростлайдиган беркитиш — очиш мосламаси.

Вентилятор (лат.), хоналарни шамоллатиш, аэроаралашмаларни трубаalarda узатишда ҳаво ёки бошқа газларни хайдаш учун кичик босим (0,01 МПа гача) ҳосил қиладиган қурилма.

Вентури трубаси (Италия олими Ж. Вентури номидан), босимлар тафовутига кўра, суюқлик, буг ёки газ тезлиги ёки сарфи ўлчанадиган қурилма.

Газодувка (рус.), ҳаво ёки бошқа газларни сиқиш ва хайдаш учун ўртача босим (0,01 дан 0,3 МПа гача) ҳосил қиладиган қурилма.

Газлифт (рус.), суюқликлар (нефть, сув, турли эритмалар ва бошқалар)ни уларга аралаштирилган газ энергияси ҳисобига кўтариш қурилмаси. Агар қурилмада газ ўрнига сиқилган ҳаво ишлатилса *эрлифт* деб аталади.

Гидравлика (юнон), суюқликларнинг ҳаракати ва мувозанат қонуларини ҳамда бу қонуларни инженерлик масалаларини ҳал қилишда татбиқ этиш усулларини ўрганувчи фан.

Гидродинамика (юнон.), гидромеханиканинг сиқилмайдиган суюқликлар ҳаракатини ва уларнинг қаттиқ жисмлар билан ўзаро таъсирини ўрганадиган бўлими.

Гидромеханика (юнон.), суюқликнинг мувозанати ва ҳаракатини, шунингдек, суюқликнинг унга ботирилган ёки унда ҳаракатланаётган жисм билан ўзаро таъсирини ўрганади.

Гидростатика (юнон.), гидромеханиканинг қўйилган кучлар таъсирида суюқликларнинг мувозанат шароитларини, шунингдек сокин суюқликларнинг уларга ботирилган жисмларга ва идиш деворларига таъсирини ўрганадиган бўлими.

Гидроциклон (юнон.), бир-биридан массалари билан фарқ қиладиган минерал доначаларни сув муҳитида ажратадиган қурилма.

Горелка (рус.), газсимон, суюқ ёки чангсимон ёқилгиларнинг ҳаво ёки кислород билан аралашмасини ҳосил қиладиган ва уни ёқиш жойига узатадиган қурилма.

Градирия (нем.), сувни атмосфера ҳавоси билан совитиш қурилмаси.

Гранулалаш (лат.), моддага майда бўлақлар (гранулалар) шаклини бериш жараёни.

Дезинтигратор (лат.), кам абразив мўрт материаллари янчиш (дагал майдалаш) машинаси.

Диафрагма (يونون.), тешикли ёки тешиксиз пластина (тўсиқ).

Диспергираш (лат.), каттиқ ёки суюқ жисмларни майин қилиб майдалаш.

Диффузия (лат.), модданинг бир муҳитдан концентрацияси камайиши йўналишида тарқалиши. Диффузия ионлар, атомлар, молекулалар, шунингдек анча йирик зарраларнинг иссиқлик ҳаркати туфайли юз беради.

Задвижка (рус.), трубопроводдаги оқим микдорини пона шаклига эга бўлган затвор ёрдамида ростлайдиган беркитиш-очиш мосламаси.

Заслонка (рус.), канал (труба)нинг кесим юзини ўзгартирадиган ҳамда шу йўл билан ундан ўтайдиган газ ёки суюқлик массаси ва ҳажмини ростлайдиган мослама.

Золотник (рус.), сирпанадиган сиртдаги тешиқларга нисбатан силжиб, иш суюқлиги ёки газ оқимини керакли каналга йўналтирувчи кўзгалувчан элемент.

Змеевик (рус.), иссиқлик алмашилини қурилмаларида иситувчи ёки совитувчи элткчи юбориш учун ишлатиладиган спиралсимон труба.

Клапан (нем.) машиналар ва трубопроводларда газ, буг ёки суюқлик сарфини бошқарадиган деталь. Клапан босимлар фарқини ҳосил қилиш (дрессели клапанлар), суюқликнинг тесқари оқими пайдо бўлишига йўл қўймаслик (тесқари клапанлар), газ, буг ёки суюқлик босими белгиланганидан ортганда уларни қисман чиқариб юбориш (сақлаш клапанлари), босимни пасайтириш ва уни маромида тутиб туриш (редукцион клапанлар)да ишлатилади.

Компрессор (лат.), ҳаво ёки газни 0,3 МПа ва ундан юқори босим билан сиқадиган машина.

Конвекция (лаг.), муҳит (газ, суюқлик) макроскопик қисмнинг силжиши; масса, иссиқлик ва бошқа физик микдорларнинг кўчишига сабаб бўлади. Конвекция муҳитнинг ҳар хил жинслилиги (температура ва зичлик градиентлари) сабабли юзага келувчи табиий (эркин) ва муҳитга ташқи таъсир бўлгандаги мажбурий турларга бўлинади.

Конденсат (лат.), газ ёки бугни конденсациялашда ҳосил бўладиган суюқлик.

Конденсатор (лат.), моддаларни совитиш йўли билан газ (буг) ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтказадиган иссиқлик алмаштиргич.

Кондиционер (лат.), ҳавони кондицирлаш системаларида ҳавога ишлов берадиган ва уни хайдайдиган агрегат.

Корпус (лат.), машина деталли; одатда, машинанинг барча асосий механизмлари кўтарадиган асоси, негизи ҳисобланади.

Кран (голл.), трубадаги беркитиш-очиш учун жумрак. Унинг кўзгалувчан деталли (тиқини) тешикли айланувчи жисм шаклида бўлиб, суюқлик (газ) оқими йўлини очиш ва беркитишда ўз ўқи атрофида оқим йўналишига перпендикуляр равишда бурилади.

Кривошип (рус.), кривошипли механизмнинг кўзгалмас ўқ атрофида тўлиқ (360°) айланадиган звеноси. Кривошипли механизмлар поршенли насослар ва компрессорларнинг ҳаракат узатмаларида ишлатилади.

Ламинар оқим (лат.), ёпишқоқ суюқлик (ёки газ)нинг тартибли оқими; суюқлик қўшни қатламларининг ўзаро аралашиб кетмаслиги билан характерланади.

Манометр (يونон.), суюқлик ва газ босимини ўлчайдиган асбоб. Бундай асбоблар бир неча турга бўлинади: нолдан (тўла вакуумдан) ҳисобланадиган босимни ўлчайдиган манометрлар; ортиқча босимни яъни абсолют босим атмосфера босимидан катта бўлганда, абсолют ва атмосфера босимлари орасидаги фарқни ўлчайдиган манометрлар; ҳар бири атмосфера босимидан фарқланувчи икки босим орасидаги фарқни ўлчайдиган дифманометрлар. Атмосфера босимини ўлчаш учун барометрлар, полга яқин босимларни ўлчаш учун вакуумметрлар ишлатилади.

Машина (лат.), энергия, материаллар ёки ахборотни ўзгартириш мақсадда механик ҳаракат бажарувчи қурилма.

Моделлаш (рус.), мураккаб объектлар, ходисалар ёки жараёнларни, уларнинг моделларида ёки ҳақиқий қурилмаларда тажриба ўтказиш ва ишлашига ўхшаш моделларини қўллаб тадқиқ қилиш усули.

Модель (рус.), кенг маънода олганда бирор объект, жараён ёки ходисанинг хаёлий ёки шартли ҳар қандай тасволи: тасвир, баён, схема, график, план ва бошқалар. Масалан, илмий мақсадларда бирон бир қурилма (оригинал)нинг тузилиши ва ишлашини такрорловчи, кўрсатувчи кичик ўлчамли қурилма.

Монтежю (франц.), қопқок ёрдамида зич ёпилган горизонтал ёки вертикал цилиндрсимон идиш бўлиб, ифлосланган, агрессив ва радиактив суюқликларни ҳаво ва инерт газларнинг энергияси ёрдамида унча юқори бўлмаган баландликка узатиш учун ишлатилади.

Муфта (нем.), вал, тортқи, труба, канат, кабель ва бошқалар бириктириладиган қурилма.

Напор (рус.), суюқлик окимининг берилган нуктада солиштирама (огирлик бирлигига нисбатан олинган) энергиясини белгилловчи чизикли катталиқ. Напор узунлик бирлигида ўлчанади.

Насадка (рус.), айрим қурилмаларнинг ичига солиб қўйиладиган ҳар хил шакли каттик жисмлар. Насадкаларнинг турлари: Рашиг ҳалқалари, керамик буюмлар, кокс, майдаланган кварц, полимер ҳалқалар, металлдан тайёрланган тўрлар, шарлар ва бошқалар.

Насос (рус.), суюқлик (жумладан, каттик ва газсимон аралашмалар)ни босим остида ҳайдайдиган гидромашина.

Оптимал — энг мақбул, муайян шарт ва мақсадларга жуда мос.

Оптималлаш (лат.), мавжуд вариантлардан энг яхшиси, энг мақбулини танлаб олиш жараёни.

Патрубок (рус.), асосий труба, резервуар ёки қурилмалардан газ, буг ёки суюқлик олинадиган қисқа труба. Патрубок учларининг ўлчами ва шакли ҳар хил бўлганда оралик патрубogi деб аталади.

Плунжер (ингл.), узунлиги диаметридан анча катта поршень.

Пресс (фран.), материалларга босим остида ишлов бериш машинаси.

Процесс (лат.), ҳодисаларнинг изчил алмашиниб туриши, бирор нарсанинг тараққиёт ҳолати, жараён. Дарсликда процесс термини ўрнига жараён сўзи ишлатилди. Масалан, гидромеханик жараёнлар (чўктириш, фильтрлаш, центрифугалаш ва бошқалар).

Поршень (рус.), машина ёки асбобнинг ҳаракатланувчи детал; цилиндрнинг кундаланг кесимини зич қоплайди ва унинг ўқи бўйлаб ҳаракатланади.

Психрометр (юнон.), ҳавонинг температураси ва намлиги аниқланадиган асбоб.

Пульпа (лат.), майдаланган (0,5—1 мм дан майда) фойдали қазилманинг сув билан аралашмаси.

Рафинация (фран.), озик-овқат маҳсулотлари (спирт, канд, ўсимлик мойлари ва бошқалар)ни аралашмалардан тозалаш. Нодир металлларни тозалаш аффинаж деб аталади.

Реактор (лат.), саноат миқёсида кимёвий реакциялар ўтказиладиган қурилмалар, масалан автоклавлар.

Регенератор (лат.), иссиқлик алмаштириш қурилмаси; унда иссиқ ва совуқ элтқичлар битта сиртга галма-гал тегиши ҳисобига иссиқлик узатилади.

Регенерация (лат.), иш бажарган жисмнинг дастлабки сифатларини тиклаш, масалан, адсорблаш жараёнида адсорбентларнинг хоссаларини тиклаш.

Резервуар (франц., лат.), суюқлик ва газлар сақланадиган (ер устига ёки ер остига жойлаштириладиган) катта идиш.

Рекуператор (лат.), иссиқлик алмашиниш қурилмаси; унда иссиқлик элтувчиларини ажратиб турган девор орқали улар орасида иссиқлик алмашиб туради.

Реология (юнон.), модда деформацияси ва оқувчанлиги ҳақидаги фан. Ҳар хил ёпишқок ва пластик материалларнинг қайтмас қолдик деформацияси ва оқиши билан боғлиқ жараёнларни ўрганади.

Ротаметр (лат.), суюқлик ва газ тезлигини ёки сарфини ўлчайдиган асбоб.

Ротор (лат.), машиналар, масалан, роторли насослар ва центрифугаларнинг қобқалари ичида жойлашган айланувчи детал.

Сальник (рус.), машиналарнинг қўзғалувчи ва қўзғалмас деталлари (масалан, шток ва цилиндр) орасидаги тирқишни герметик беркитиб турадиган машина детал.

Сепаратор (лат.), аралашмаларни ажратувчи қурилма; ишлаш принципи аралашма компонентлари физик хоссаларнинг турлича бўлишига асосланган.

Сепарация (лат.) суюқ ёки каттик зарраларни газлардан, каттик зарраларни эса суюқликлардан ажратиш; каттик ёки суюқ аралашмаларни таркибий қисмларга ажратиш.

Сопло (рус.), ичида газ ёки суюқлик тезлиги ошадиган ўзгарувчан кесимли канал (қисқа труба).

Скруббер (инглиз.), чағли газларни ювиш йули билан тозалайдиган қурилма.
Суспензия (лат.), суюқ дисперсион муҳитли ва зарралари броун ҳаракатига тўқинлик қила оладиган даражада йирик бўлган дисперс фазали турли жинсли системалар.

Схема (юнон.), асбоб, қурилма, иншоот ва бошқаларнинг асосий гоёсини, иш принципларини ҳамда жараёнлар кетма-кетлигини изоҳлаб берадиган чизма.

Технология (юнон.), маҳсулот ишлаб чиқариш жараёнида хом ашё, материал ёки яримфабрикатга ишлов бериш, тайёрлаш, уларнинг ҳолати, хоссалари ва шаклини ўзгартириш усуллари мажмуи.

Трубопровод (рус.), газсимон, суюқ ва қаттиқ маҳсулотларни, шу жумладан, тайёр буюмларни ташишда ишлатиладиган трубалардан бир-бирига зич қилиб бириктирилган иншоот. Ташиладиган маҳсулотларнинг хилига кўра трубопроводларнинг турлари: газопровод, нефтепровод, водопровод, пульпопровод ва бошқалар.

Турбина (франц.), берилаетган иш жисми (буг, газ, сув)нинг кинетик энергиясини механик ишга айлантириб берадиган бирламчи двигатель.

Турбулент оқим (лат.), заррачалари мураккаб траекториялар бўйича турғунлашмаган тартибсиз ҳаракатланадиган суюқлик (ёки газ) оқими. Бундай ҳолатда суюқлик тезлиги ва унинг босими оқимнинг ҳар бир нуктасида тартибсиз ўзгаради.

Ультрафилтрлаш (лат., франц.), эритмаларни ярим ўтаувчан мембраналар орқали босим билан ўтказиш.

Фаза (юнон.), кимёвий таркиби ва физик хоссалари бўйича термодинамик системанинг бир жинсли бўлган қисми.

Фильтр (франц.), қаттиқ ва суюқ фазали ҳар хил жинсли системани говак тўсиқлардан ўтказиб таркибий қисмларга ажратадиган, қуюлтирадиган ёки тиндирадиган қурилма.

Фланец (нем.), труба, арматура, резервуар, валлар ва бошқаларнинг бирлаштирувчи қисми; одатда, болтлар ёки шпилькалар ўтказиш учун бир текисда жойлашган тешиклари бўлган ясси халқа ёки дискдан иборат.

Форсунка (ингл.), суюқликни зарраларга айлантирадиган бир ёки бир неча тешикли қурилма.

Цапфа (нем.), ўқ ёки валнинг подшпникка тиралиб турадиган қисми.

Центрифугалаш (лат.), суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч ёрдамида ажратиш. Асосий иш қисми — ўз ўқи атрофида тез айланадиган барабан (ротор)дан иборат центрифугаларда амалга оширилади.

Центриклон (лат.), гидроциклоннинг мукамаллашган тури. Кучли марказдан қочма куч майдони ҳосил қилиш учун унинг цилиндрсимон қисмига парракли ротор ўрнатилади.

Циклон (юнон), газни қаттиқ заррачалардан марказдан қочма куч таъсирида тозалайдиган қурилма.

Штуцер (нем.), учи резьбали бириктириш патрубogi. Резервуарлар ёки қурилмаларнинг трубаларига ёхуд қикиш патрубокларига пайвандланади, қавнарланади ёки бураб қўйилади. Трубопроводлардаги кичикроқ диаметрли (10—20 мм) труба бўлаги штуцер деб аталади; ундан сув ёки ҳавони чиқариб юбориш учун, шунингдек трубопроводаги суюқлик босимини ўлчаш мақсадида фойдаланилади.

Эжектор (франц.), газ ёки суюқликларни сўриш учун бошқа газ ёки суюқликнинг кинетик энергиясидан фойдаланадиган қурилма. Масалан, оқимли насослар эжектордан фойдаланишга асосланган.

Эквивалент (лат.), бирор нарсанинг ўрнини боса оладиган ёки унинг ифодаси бўлиб хизмат қиладиган тенг баҳоли, тенг қимматли нарса ёки миқдор. Масалан, турли ўлчамга эга бўлган заррачаларнинг эквивалент диаметри.

Экструдер (лат.) полимер материалларни юмшатиш ва уларга керакли шакллари беришга мўлжалланган машина.

Элеватор (лат.), юкларни тик ёки қия йўналишларда узлуксиз ташийдиган қурилма. Элеваторнинг тоқчали, беланчақсимон ва қовшли хиллари бор.

Эмульсия (лат.), бир суюқликнинг майда томчилари (дисперс фаза) бошқа суюқлик (дисперсион муҳит)да тарқалиши натижасида ҳосил бўлган турли жинсли системалар.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Н. И. Гельперин. Основы техники псевдооживления. М.: Химия, 1967.
2. Дж. Перри. Справочник инженера — химика. Перевод с английского издания. Под редакцией Н. М. Жаворонкова и П. Г. Романкова. Л.: Химия, 1969.
3. А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970.
4. В. А. Жужиков. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1971.
5. В. В. Кафаров. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1971.
6. Р. Фрэнкс. Математическое моделирование в химической технологии. Перевод с английского. М.: Химия, 1971.
7. А. Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.
8. Р. Берд, В. Стюарт, Е. Лайтфут. Явления переноса. Перевод с английского. М.: Химия, 1974.
9. А. И. Бояринов, В. В. Кафаров. Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия, 1975.
10. И. Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.
11. Р. Е. Лейси, С. Лёб. Технологические процессы с применением мембран. Перевод с английского. М.: Мир, 1976.
12. В. Б. Коган. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. Л.: Химия, 1977.
13. З. Салимов. Интенсификация технологических процессов производства растительных масел. Т.: «Ўзбекистон», 1981.
14. А. А. Лашинский. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. Л.: Машиностроение, 1981.
15. А. К. Морчун, В. П. Градиль, Р. А. Егошин. Справочник по Единой системе конструкторской документации. Харьков: Прапор, 1981.
16. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Под редакцией В. Н. Стабникова. Киев: Высшая школа, 1982.
17. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Под редакцией Ю. И. Дытнерского. М.: Химия, 1983.
18. М. Н. Кувшинский, А. П. Соболева. Курсовое проектирование по предмету «Процессы и аппараты химической промышленности». М.: Высшая школа 1982.
19. З. Салимов, О. Б. Ерофеева. Интенсификация технологических процессов химических и пищевых производств. Т.: «Ўзбекистон», 1984.
20. В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Полов. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1985.
21. В. И. Левш, З. Салимов. Очистка газовых выбросов в турбулизированных аппаратах с газожидкостным слоем. Т.: Фан, 1988.
22. З. З. Рахмилевич, И. М. Радзин, С. А. Фарамазов. Справочник механика химических и нефтехимических производств. М.: Химия, 1985.

24. З. Салимов, И. Туйчиев. Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. Т.: Ўқитувчи, 1987.
25. И. М. Федоткин. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. Кишинев: Штиинца, 1987.
26. А. П. Цыганков, В. Н. Сенин. Циклические процессы в химической технологии. Основы безотходных производств. М.: Химия, 1988.
27. П. Г. Романков, М. И. Курочкина, Ю. Я. Мозжерин, Н. Н. Смирнов. Процессы и аппараты химической промышленности. Л.: Химия, 1989.
28. И. И. Поникаров, О. А. Перелыгин, В. Н. Доронин, М. Г. Гайнулин. Машины и аппараты химических производств. М.: Машиностроение, 1989.
29. А. М. Кутепов, Т. Н. Бондарева, М. Г. Беренгартен. Общая химическая технология. М.: Высшая школа, 1990.
30. Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990.
31. А. М. Белевицкий. Проектирование газоочистительных сооружений. Л.: Химия, 1990.
32. И. Л. Иоффе. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1991.
33. К. Латипов, С. Эргашев. Гидравлика ва гидромашиналар. Т.: Ўқитувчи, 1986.

МУНДАРИЖА

Кириш	3
-------	---

АСОСИЙ ҚОНУН-ҚОНДАЛАР

1- боб. «Жараёнлар ва қурилмалар» фани тўғрисида умумий тушунчалар	7
1.1- §. «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг мазмуни	7
1.2- §. «Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиши ва ривожланиши	9
1.3- §. Асосий жараёнларнинг турлари	10
1.4- §. Модда ва энергиянинг сақланиш қонунлари	11
1.5- §. Системанинг мувозанат қонунлари	13
1.6- §. Модда ва энергиянинг ўтказиш қонунлари	14
1.7- §. Мукамал қурилмалар яратиш асослари	16
1.8- §. Кимёвий қурилмалар тайёрлаш учун материаллар	18
1.9- §. Физик катталикларнинг ўлчов системалари	21
1.10- §. Газ, суюқлик ва каттик моддаларнинг физик-техникавий хоссалари	24
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	27
2- боб. Жараёнлар ва қурилмаларни моделлаштириш асослари	28
2.1- §. Ўхшашлик назариясининг аҳамияти	28
2.2- §. Ўхшашлик теоремалари	29
2.3- §. Ўхшашлик мезонлари	31
2.4- §. Ўлчамларни таҳлил қилиш	35
2.5- §. Моделлаштиришнинг асосий принциплари	37
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	39

МЕХАНИК ВА ГИДРОМЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР

3- боб. Материалларни майдалаш	40
3.1- §. Умумий тушунчалар	40
3.2- §. Майдалашнинг асосий қонунлари	42
3.3- §. Майдалаш машиналарининг принципиал чизмалари	44
3.4- §. Майдалаш машиналарининг тузилиши	46
3.5- §. Майдалаш машиналарини ҳисоблаш	50
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	55
4- боб. Техникавий гидравлика асослари	56
4.1- §. Умумий тушунчалар	56
4.2- §. Гидростатик босим	57
4.3- §. Суюқлик мувозанат ҳолатининг Эйлер дифференциал тенгламаси	59
4.4- §. Гидростатиканинг асосий тенгламаси	61
4.5- §. Ньютон ва Ноньютон суюқликлар	62
4.6- §. Суюқликнинг тезлиги ва сарфи	64
4.7- §. Оқимнинг узлуксизлиги	65
4.8- §. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер дифференциал тенгламаси	66
4.9- §. Суюқлик ҳаракатининг Навье-Стокс дифференциал тенгламаси	67
4.10- §. Оқимнинг материал ва энергетик баланслари	69

4.11-§. Хақиқий суюқликларнинг ҳаракат режимлари	72
4.12-§. Суюқлик оқимининг тузилиши.	75
4.13-§. Гидравлик қаршиликлар	79
4.14-§. Суюқликларнинг тешиқлар орқали оқиб чиқиши	81
4.15-§. Суюқликнинг донасимон қатламдаги ҳаракати.	83
4.16-§. Мавҳум кайнаш	85
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>93</i>
5- боб. Суюқлик ва газларни узатиш	94
5.1-§. Умумий тушунчалар	94
5.2-§. Насос босими ва сўриш баландлиги	96
5.3-§. Марказдан қочма насослар	98
5.4-§. Поршенли насослар	104
5.5-§. Бошка турдаги насослар	107
5.6-§. Газ сикишнинг термодинамик асослари.	112
5.7-§. Вентиляторлар	116
5.8-§. Марказдан қочма компрессор ва газодувқалар.	117
5.9-§. Поршенли компрессорлар	120
5.10-§. Роторли компрессорлар	124
5.11-§. Вакуум-насослар	127
5.12-§. Насос ва компрессорларнинг ишлатилиш соҳалари.	129
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>132</i>
6- боб. Суюқлик муҳитларида аралаштириш	133
6.1-§. Умумий тушунчалар	133
6.2-§. Механик усулда аралаштириш	134
6.3-§. Механик аралаштиришдаги қувват сарфи	140
6.4-§. Циркуляцион аралаштириш	142
6.5-§. Турбулизаторлар ёрдамида аралаштириш	144
6.6-§. Пневматик аралаштириш	144
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар.</i>	<i>146</i>
7- боб. Суюқлик турли жинсли системаларни ажратиш	146
7.1-§. Турли жинсли системаларнинг турлари ва уларни ажратиш усуллари	146
7.2-§. Гравитацион ҷўктириш.	149
7.3-§. Ҷўктирувчи қурилмалар	153
7.4-§. Филтраш	157
7.5-§. Филтрнинг асосий турлари	162
7.6-§. Марказдан қочма куч таъсирида ҷўкктириш	172
7.7-§. Гидроциклонлар	174
7.8-§. Центрифугалар	177
7.9-§. Ультрафилтраш	185
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>189</i>
8- боб. Газларни чангдан тозалаш	189
8.1-§. Умумий тушунчалар.	189
8.2-§. Чанг ҷўктириш камералари	190
8.3-§. Циклонлар	192
8.4-§. Уюрмали чанг ушлагичлар	199
8.5-§. Ротацион чанг ушлагичлар	200

8.6- §. Газювувчи қурилмалар	201
8.7- §. Фильтрлар	207
8.8- §. Электрофильтрлар	212
8.9- §. Газ тозалайдиган қурилмаларни танлаш.	216
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>218</i>

ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНЛРИ

9- боб. Иссиқлик ўтказиш асослари	219
9.1- §. Умумий тушунчалар	219
9.2- §. Иссиқлик баланси	220
9.3- §. Иссиқлик ўтказувчанлик	221
9.4- §. Иссиқлик нурланиши	227
9.5- §. Конвектив иссиқлик алмашилиши	231
9.6- §. Конвектив иссиқлик алмашилишининг тажриба натижалари.	236
9.7- §. Агрегат ҳолатнинг ўзгаришида иссиқлик бериш.	244
9.8- §. Донатор материаллар қатламида иссиқликнинг тарқалиши.	248
9.9- §. Иссиқлик ўтиши	250
9.10- §. Иссиқлик бериш ва ўтказиш коэффициентининг қийматлари.	252
9.11- §. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи	252
9.12- §. Иссиқлик ўтказиш жараёнларини тезлатиш	255
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>257</i>
10- боб. Иситиш, совитиш ва конденсациялаш	257
10.1- §. Умумий тушунчалар	257
10.2- §. Сув буғи билан иситиш	258
10.3- §. Иссиқ сув билан иситиш	261
10.4- §. Тутун газлари билан иситиш	262
10.5- §. Юқори температурали моддалар билан иситиш	264
10.6- §. Электр токи билан иситиш.	267
10.7- §. Олдий температураларгача совитиш	269
10.8- §. Буғни конденсациялаш	271
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>274</i>
11- боб. Иссиқлик алмашилиши қурилмалари	275
11.1- §. Умумий тушунчалар	275
11.2- §. Қобик турбали иссиқлик алмашигичлар	277
11.3- §. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашигичлар	282
11.4- §. Қўш турбали, намловчи ва змеевикли иссиқлик алмашигичлар.	285
11.5- §. Филофли ва горелкали иссиқлик алмашигичлар.	288
11.6- §. Блокли ва шнекли иссиқлик алмашигичлар	290
11.7- §. Ҳаво билан совитиладиган қурилмалар	293
11.8- §. Юзали ва аралаштирувчи конденсаторлар	295
11.9- §. Генератив иссиқлик алмашигичлар	297
11.10- §. Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашигичлар.	298
11.11- §. Қобик-турбали қурилмаларда иссиқлик алмашилишни тезлаштириш	300
11.12- §. Истикболли иссиқлик алмашигич	303
11.13- §. Қобик турбали иссиқлик алмашилиши қурилмаларини ҳисоблаш тартиби	307
11.14- §. Конденсаторларни ҳисоблаш	317

	11.15- §. Қобик-трубали иссиқлик алмашгични ЭХМ ёрдамида хисоблаш	320
	11.16- §. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини танлаш	323
	<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	326
	12- боб. Буглатиш	326
	12.1- §. Умумий тушунчалар	326
	12.2- §. Битта аппаратли буглатиш қурилмалари	328
<i>Такрорлаш</i>	12.3- §. Қўл аппаратли буглатиш қурилмалари	333
<i>5- боб.</i>	12.4- §. Буглатиш аппаратларининг тузилиши.	343
	12.5- §. Буглатиш қурилмаларини ҳисоблаш	353
	12.6- §. Буглатиш қурилмаларини танлаш	357
	<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	358
	Баъзи терминларнинг таърифи	359
	Адабиётлар рўйхати	363

Такрорлаш
6- боб.

Такрорлаш
7- боб.

Зокиржон Салимов
**ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

На узбекском языке

Издательство «Ўзбекистон» — 1994, 700129, Тошкент, Навоий, 30

Кичик муҳаррир *Ш. Соибназарова*
Бадий муҳаррир *И. Кученкова*
Техник муҳаррирлар *А. Бахтияров, С. Собирова*
Мусаххих М. Мажитхужаева

Такрорлаш
8- боб.

Терришга берилди 09.07.93. Босишга руҳсат этилди 24.05.94. Бичими 60×90¹/16. «Литературная» гарнитурда юқори босма усулида босилди. Шартли бос. т. 23,0. Нашр. т. 24,69. 5000 нусхада чоп этилди. Букюртма № 485. Бихоси шартнома асосида.

«Ўзбекистон» нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Нашр № 198-92.

Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот қўмитасининг ижарадаги
Тошкент матбаа комбинатида теришиб, Тошкент рангли босма фабрикасида
босилди. 700128, Тошкент, У. Юсупов кўчаси, 86.

